

## SCADA sistemi



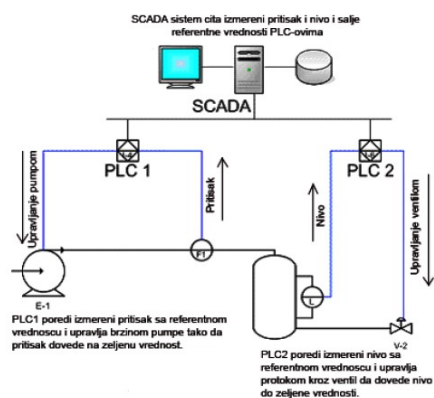
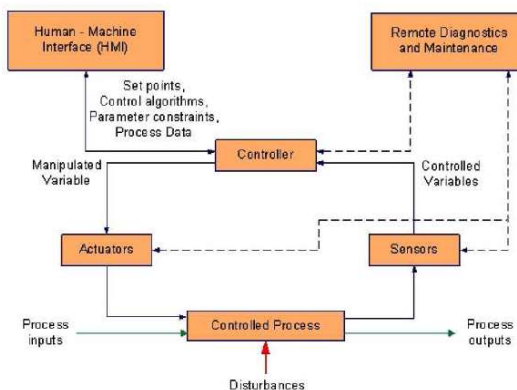
### Šta je SCADA?

- **SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) je sistem** koji služi za automatizaciju opštih procesa, odnosno koji se koristi za prikupljanje podataka sa senzora i instrumenata lociranih na udaljenim stanicama i za prenos i prikazivanje tih podataka u centralnoj stanici u svrhu nadzora ili upravljanja.
- Prikupljeni podaci se obično posmatraju na jednom ili više SCADA računara u centralnoj (glavnoj) stanici. SCADA sistem u realnosti može da prati i upravlja i do stotinama hiljada ulazno-izlaznih vrijednosti.
- Uobičajeni analogni signali koje SCADA sistem nadzire (ili upravlja) su nivoi, temperature, pritisci, brzine protoka i brzine motora.
- Tipični digitalni signali za nadzor (upravljanje) su prekidači nivoa, prekidači pritiska, status generatora, releji i motori.



- Kao što joj i samo ime kaže, ona nema potpunu kontrolu nad sistemom, već je više **fokusirana ka nivou nadgledanja i nadziranja**. Kao takva, ona je **softverski paket** koji je pozicioniran na samom vrhu hardvera na koji se odnosi, uglavnom preko PLC-a ili drugog komercijalnog hardverskog modula.

- SCADA sistemi se koriste ne samo u većini industrijskih procesa kao što su dobijanje čelika, proizvodnja i distribucija električne energije (konvencionalne i nuklearne), praćenje i kontrola hemijskih i transportnih procesa, gradskih vodovodnih sistema već takođe sve više i svakodnevnom životu. SCADA sistemi su postigli suštinski napredak tokom proteklih godina u smislu funkcionalnosti i performansi.



- Termin **SCADA** se obično odnosi na centralni sistem koji nadgleda i kontroliše čitavu fabriku ili sistem koji je raspregnut na velike daljine (kilometri). Najveći dio kontrole jedne stanice se ustvari vrši automatski od strane PLC-a. Glavne kontrolne funkcije su skoro uvijek zabranjene kontroleru u stanici.

- Na primjer, PLC može da kontroliše protok vode za hlađenje kroz dio industrijskog procesa, ali SCADA sistem može da dozvoli operateru da promijeni zadatu vrijednost protoka i može da snima i prikazuje bilo koja alarmna stanja, kao što su gubitak pritiska ili visoka temperatura.

### Prikupljanje podataka

- Prikupljanje podataka počinje na nivou PLC-a i uključuje očitavanje veličina i statusa.
- Zatim se podaci koji su potrebni šalju na SCADA sistem, gdje se prevode i formatiraju na takav način da operater u kontrolnoj sobi uz pomoć interfejsa može, na osnovu njih, donijeti odgovarajuće odluke koje mogu biti potrebne da bi se podesile ili prepisale normalne PLC-ove kontrole.
- Podaci se takođe mogu čuvati u istorijatu, koji je često podržan bazom podataka, radi prikaza trendova i drugih analitičkih radnji.

■ **SCADA sistem tipično implementira distribuiranu bazu podataka**, koja se često zove i **baza tagova**, koja se sastoji od elemenata zvanih *tačke ili tagovi*.

■ **Tag predstavlja jednu ulaznu ili izlaznu vrijednost koja se prati ili kojom se upravlja od strane sistema**. Tagovi mogu biti "hard" (tvrđi) ili "soft" (meki).

■ **Tvrđi tag** predstavlja **stvarnu vrijednost** ulaznog ili izlaznog signala, dok je **meki tag** rezultat logičkih i matematičkih operacija primijenjenih na tvrđi tag.

■ Većina interpretacija konceptualno uklanja ove granice nazivajući tvrđe tagove najprostijim slučajem mekog taga. Vrijednosti tagova se obično čuvaju kao kombinacija vrijednost-vrijeme; vrijednost i vremenski trenutak kada je ta vrijednost snimljena ili izračunata. Serija vrijednost-vrijeme kombinacija je istorijat tog taga.

■ **SCADA računar** je obično industrijski PC na kome se izvršava sofisticirani SCADA HMI softver.

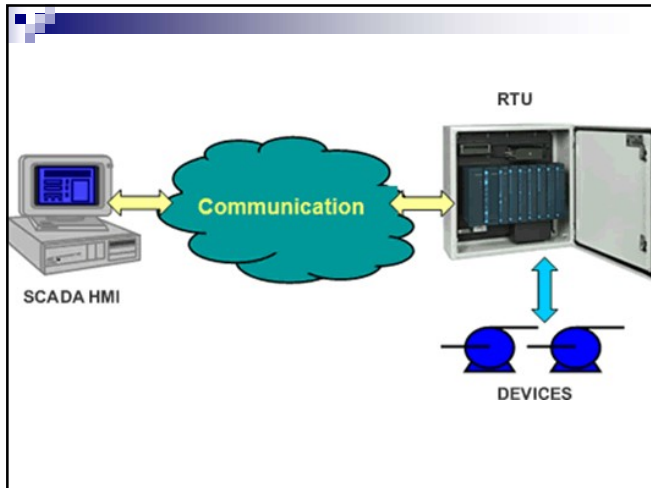
■ **HMI (Human-Machine Interface – Sprega između čovjeka i računara)** je aparat koji procesne podatke predstavlja operateru i kroz koji operater kontroliše proces.

■ **Osnovni interfejs operatera** je skup grafičkih ekrana koji prikazuju reprezentaciju opreme koja se posmatra. Tipičan HMI se sastoji od ugnježdenog derivacijskog stabla mnoštva takvih ekrana.

■ **HMI industrija** je u osnovi rođena iz potrebe za standardizacijom načina praćenja i kontrolisanja udaljenih kontrolera sa više pozicija, PLC-ova i drugih kontrolnih uređaja.

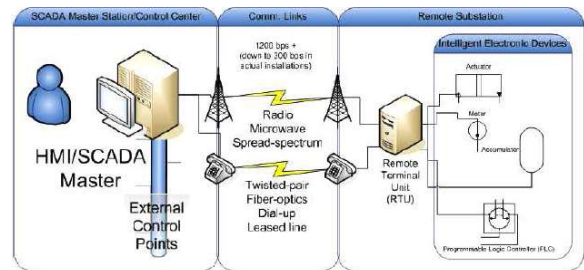
■ Dok PLC-ovi omogućavaju automatsko, pre-programsko vođenje procesa, oni su obično raštrkani po cijeloj fabrici, čime je ručno prikupljanje podataka sa njih otežano.

■ Istorijski, PLC-ovi nemaju standardizovan način prikazivanja informacija operateru. Dok **SCADA sistem prikuplja informacije sa PLC-ova i drugih kontrolera preko neke vrste mreže**, zatim kombinuje i formatira te informacije. HMI može takođe biti povezan sa bazom podataka, da bi obezbijedio prikazivanje trendova, dijagnostičkih podataka i menadžerskih informacija.



Tri komponente SCADA sistema su:

- glavna stanica (Master Station) i HMI kompjuter(i),
- komunikacijska infrastruktura,
- višestruke udaljene terminalne jedinice (PLC-ovi).



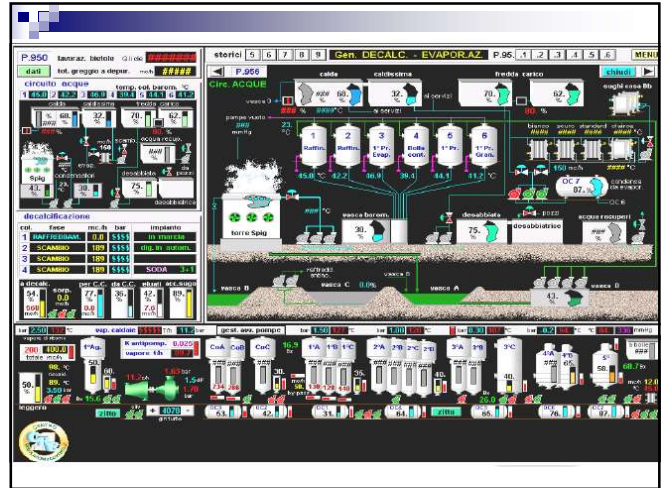
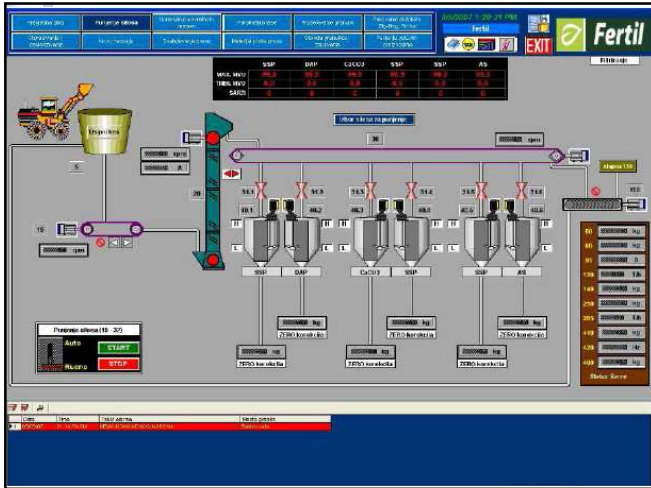
### Master Station

- Termin “**glavna stanica**” se odnosi na servere i na softver za komunikaciju sa opremom, a onda i na HMI softver koji se izvršava na jednom ili više računara u kontrolnoj sobi, ili negdje drugo.
- U manjim SCADA sistemima, glavna stanica može biti samo jedan PC računar, dok u većim SCADA sistemima, glavna stanica se može sastojati od više servera i distribuiranih softverskih aplikacija.
- HMI/SCADA Master Station ili *Master Terminal Unit (MTU)* mora komunicirati sa RTU-ima (*Remote Terminal Unit*) koji su udaljeni od centralne lokacije.

- SCADA sistem obično prezentuje informacije operateru u obliku mimičkih dijagrama. To znači da operater može da vidi šematsko predstavljanje fabrike koju kontroliše.

- Na primjer, slika pumpe koja je povezana sa cijevi može operateru pokazati da pumpa radi i koliko tečnosti pumpa kroz cijev u tom trenutku. Operater tada može da isključi pumpu. HMI softver će prikazati smanjivanje brzine protoka tečnosti u cijevi u realnom vremenu.

- Mimički dijagrami se mogu sastojati od linijske grafike i šematskih simbola koji predstavljaju procesne elemente, ili se mogu sastojati od digitalnih fotografija procesne opreme prekrivenim animiranim simbolima.



- Vrijeme potrebno da se stigne do udaljenih stanica, da se prikupе podaci ili da se izdaju naredbe, da se preispitaju ručno unijeti podaci, ispišu izvешtaji ili izvrše bilo koje od funkcija koje pruža SCADA sistem, je u činjenici veoma znatno.
- Koristi od uštede vremena su daleko veće od skraćеnja ljudskih radnih sati – brze reakcije na alarme, blagovremene akcije i naredbe imaju i visoku novčanu vrijednost.
- Primarna svrha SCADA sistema je da unaprijed daju upozorenje na problem koji može nastati.

### Komunikacijska infrastruktura

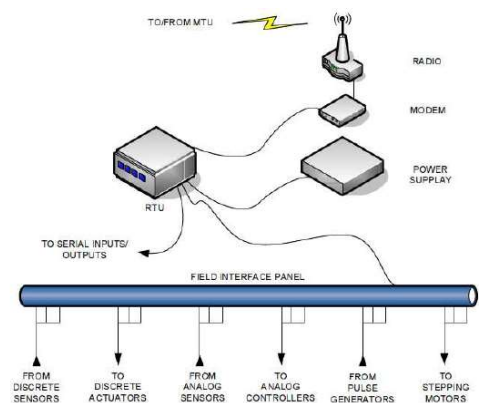
- MTU mora da komunicira sa RTU-ima (*Remote Terminal Unit*) koji su udaljeni od centralne lokacije. SCADA sistemi mogu imati od nekoliko pa do nekoliko hiljada RTU-a.
- Postoje dva uobičajena načina komunikacije:
  - pomoću zemaljske linije, najčešće su to optički ili bakarni telekomunikaciono vodovi u vlasništvu preduzeća, ređe javne telekomunikacijske mreže i
  - radio veze.
- U oba slučaja za komunikaciju je potreban MODEM.Neki veći sistemi mogu koristiti kombinaciju radio i telefonskih linija za komunikaciju.

- Jedno od obilježja SCADA sistema je jednostavnost procesa, iz tog razloga količina informacija koje se prenose SCADA sistemom je relativno mala tako da je i brzina prenosa podataka kojom modem radi niska.
- Obično MTU na sebi ima priključene izlazne uređaje (printere, memoriju za sigurnosne kopije, itd.), ti se uređaji smatraju dijelom MTU-a. U mnogim se aplikacijama od MTU-a zahtijeva komunikacija sa ostalim računarima u sistemu.
- U novijim SCADA sistemima se komunikacija odvija pomoću **LAN** (*Local Area Network*) mreža. Na ovaj je način omogućen nadzor i kontrola nad SCADA-om sa bilo kojim računara koje je spojen na LAN.

### Udaljene terminalne jedinice

- Kao što je ranije spomenuto RTU komunicira sa MTU-om pomoću modularnog signala preko kablova ili radio veze.
- Svaki RTU mora biti u mogućnosti da
  - razumije da je poruka poslata njemu,
  - dekodira tu poruku,
  - reaguje na poruku,
  - odgovori ukoliko je to potrebno i
  - pritaji se u očekivanju nove poruke

- Delovanje na poruku može biti veoma složena radnja.
- Ono može zahtijevati
  - provjeru trenutnog položaja opreme na terenu,
  - poređenje trenutnog stanja sa željenim,
  - slanje električnog signala opremi na terenu sa zahtjevom za promjenom stanja,
  - provjeru stanja opreme kako bi se potvrdilo izvršenje naredbe i
  - slanje poruke o promijenjenom stanju MTU-u.
- Zbog ovih složenih zahteva većina RTU-a je bazirana na računarskoj tehnologiji.



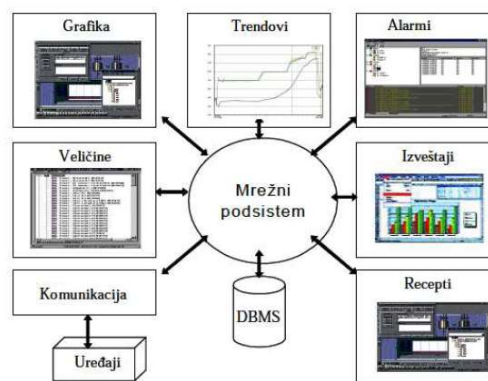
- Veza između RTU-a i opreme na terenu najčešće se izvodi električnim bakarnim vodovima. Obično se senzori i aktuatori električnom energijom napajaju od strane RTU-a.
- Zavisno od procesa i zahtjeva za pouzdanošću u nekim se sistemima može pojaviti potreba za upotrebom besprekidnih napajanja (Uninterruptible Power Supply, UPS) kako bi se osiguralo da nestanak električne energije ne ugrozi proces. Ti su zahtjevi najizraženiji u SCADA sistemima implementiranim u elektroenergetskim sistemima.
- Baš ko što MTU skenira svaki RTU, tako RTU skenira svaki senzor i aktuator spojen na njega. Međutim RTU-ovo skeniranje obavlja se na mnogo višoj brzini od skeniranja MTU-a.

### SCADA Podsystemi

- Pri realizaciji nadzorno-upravljačkih sistema primjenom SCADA softvera pretpostavlja se da postoji postrojenje sa pratećom mjernom opremom i izvršnim organima, da je data tehnološka šema i opis postrojenja, kao i elektro projekat na nivou postrojenja.
- Tada se SCADA softver projektuje tako da omogući jednostavno specificiranje svih elemenata sistema, kao i jednostavno projektovanje operatorskog interfejsa i dispečerskih stanica.
- Pri tome se mora specificirati
  - način komunikacije,
  - čvorovi u mreži,
  - vrijeme skeniranja pojedinih stanica ili pojedinih signala u stanicima,
  - kao i skup (bazu) podataka koji se prate i obrađuju.

■ Iako SCADA softvere razvijaju različiti proizvođači iz analize dostupnih sistema mogu se uočiti sličnosti u njihovoj arhitekturi.

- Takođe se može primijetiti postojanje sličnih podsystema kao što su:
  - Podsystem za definisanje veličina
  - Podsystem za alarme
  - Podsystem za prikaz trendova
  - Podsystem za izveštaje
  - Grafički podsystem
  - Komunikacioni podsystem
  - Podsystem za pristup bazama podataka





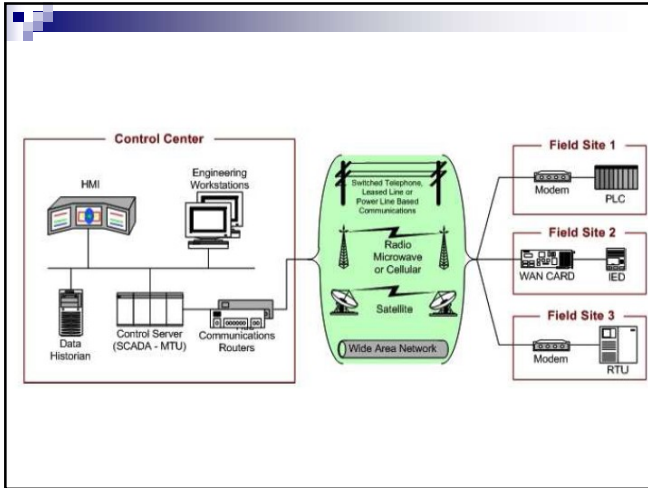
- **U podsistemu za definisanje veličina se definišu veličine i njihove osobine** kao što su gornja i donja granica vrijednosti veličine, vrijeme očitavanja, itd. Ulazne veličine predstavljaju vrijednosti izmjerenih fizičkih veličina iz procesa, a izlazne veličine su vrijednosti koje se šalju ka upravljačkim uređajima. Često se mogu definisati i memorijske veličine (koje služe za proračune) i sistemske veličine koje su specifične za upotrebljeni program.
- **Podsistem za alarme služi za definisanje i prikaz alarmnih stanja u sistemu.** Alarmna stanja mogu predstavljati nedozvoljenu ili kritičnu vrijednost veličine kao i nedozvoljenu akciju ili komandu operatera. Svaki alarm ima svoje osobine kao što su nivo ozbiljnosti alarma, mjesto nastanka, kategorija, poruka koja se vezuje za alarm i slično. **Podsistem za alarme omogućuje promjenu stanja alarma putem operacije potvrde i brisanja.**

- **Podsistem za prikaz trendova u kome se prikazuju poslednje promjene vrijednosti veličina** (trendovi u realnom vremenu) i istorijat promjene vrijednosti veličina u toku dužeg vremenskog perioda (histogrami). Dobro osmišljeni podsistemi za prikaz trendova omogućuju i uporedni prikaz više veličina kao i arhiviranje dijagrama.
- **U podsistemu za izvještaje se formiraju izvještaji o promjenama vrijednosti veličina, alarmima, akcijama operatera i ostalim aspektima rada postrojenja.**

- **Grafički podsistem prikazuje stanje postrojenja u obliku koji je najpregledniji za čovjeka** (operatera) kako bi on mogao pravovremeno odreagovati na promjenu stanja sistema.
- **Osnovna ideja je da se letimičnim pogledom na ekran uoče nepravilnosti u radu postrojenja, da bi se brzo reagovalo i spriječilo neželjeno ponašanje.**
- Vrijednosti veličina se najčešće prikazuju u obliku brojeva ili "dinamičkih slika", čime se olakšava uočavanje promjena na slici.
- Pored prikaza stanja sistema grafički podsistem treba da **omogući izvršavanje neke akcije od strane operatera.** Na primer klikom miša na neki objekat može se pokrenuti izvršavanje nekog ranije definisanog makroa ili skripte. U većini dostupnih sistema omogućeno je pisanje makroa u VBA (*Visual Basic for Application*) programskom jeziku koji se odlikuje jednostavnom sintaksom.

- **Komunikacioni podsistem omogućava povezivanje SCADA sistema sa fizičkim uređajima** koji vrše neposredan nadzor i upravljanje (PLC).
- **Podsistem za pristup bazama podataka omogućava trajno čuvanje i pregled podataka** u relacionim bazama podataka. Ranija rešenja su bilježila podatke u datoteke u nestandardnom obliku. Novija rešenja koriste neki od standardnih načina arhiviranja podataka koji omogućuju korisniku lak pristup podacima kao i **pristup podacima iz drugih softverskih sistema.**
- Na *Microsoft Windows* operativnim sistemima često se koristi **ODBC (Open Database Connectivity)** i nešto savremenija **ADO (ActiveX Data Object) tehnologija.** Upotreba ovih tehnologija omogućuje lakšu pretragu podataka kao i formiranje izveštaja pomoću **SQL (Structured Query Language) jezika.**





# KOMUNIKACIJE U SAU

## UVODNA RAZMATRANJA

- Prenos podataka ili signala u sistemima upravljanja kao što su sistemi regulacije, sistemi za prikupljanje i prezentaciju podataka, sistemi za zaštitu i upravljanje elektroenergetskim sistemima, telemetrijski sistemi, je veoma važan proces. Ovaj proces prenosa informacija unutar i između sistema upravljanja, postao je veoma bitan, čak suštinski, kod distribuiranih sistema upravljanja. U osnovi, radi se o digitalnim sistemima koji u domenu sistema za obradu informacija postaju sve dominantnijim nad analognim sistemima upravljanja.

## UVODNA RAZMATRANJA

- Posljednjih nekoliko godina došle su do izražaja značajne prednosti realizacije uređaja i sistema upravljanja na bazi digitalne tehnike. U vezi s tim, došlo je do značajnog smanjenja cijene po funkciji, povećana je tačnost, kao i moć i fleksibilnost SAU. Sve ovo omogućeno je napretkom u proizvodnji digitalnih kola uz stalno smanjivanje cijene njihovog koštanja.
- Pored ostalih prednosti digitalni sistemi pružaju veću sigurnost, veću tačnost, stabilnost i pouzdan prenos signala. Digitalni signali prenose se kao biti, ili binarne cifre, a prijemnik signala treba samo da razlikuje binarne "1"-jedinice (prisustvo signala) i binarne "0"-nule (odsustvo signala).

## UVODNA RAZMATRANJA

- SAU za upravljanje tehnoloških procesa, elektroenergetskih sistema, prikupljanje podataka, itd., obično rade na takvim lokacijama gdje vladaju teški ambijentni uslovi rada (visoke temperature, vlažnost, uticaji elektromagnetnih smetnji, itd.). Radi toga, neophodno je kod projektovanja prenosnih puteva unutar i između SAU, osigurati integritet podataka, što podrazumijeva primjenu specifičnih načina prenosa signala, a koji zavisi od tipa samog signala, tačnosti prenosa, udaljenosti, tipa prenosne linije, itd.
- Osnovni zahtjev koji treba da bude ispunjen u toku prenosa signala je da se odnos SIGNAL/ŠUM (S/N) na prenosnoj liniji zadrži na nivou koji obezbeđuje zahtijevanu tačnost.
- Drugi faktor koji je bitan za prenos signala, je minimizacija uticaja koji smanjuju upotrebljivu daljinu prenosa. Da se ilustruje zahtjev na odnos S/N, neka bude razmotren sljedeći slučaj.

## UVODNA RAZMATRANJA

- Dobar analogni regulator ima vremenski drift manji od 0.1% OPSEGA/h, ili 5 mV za područje izlaznog signala 0-5 V.
- Mjerenja vršena na dvostrukom oklopljenom kablju, dužina 100-200 m, koji prolazi kroz tipičnu industrijsku sredinu, pokazala su da je realan nivo šuma  $\pm 0.1$  V, a nakon odgovarajuće redukcije, moguće ga je svesti na oko  $\pm 10$  mV. Ovo znači da je u ovom slučaju šum reda 0.2% OPSEGA analognog signala 0-5 V.
- Ako je nivo logičke jedinice 5 V, što je oko 500 puta veće od nivoa šuma, u slučaju opisanom ovdje, vjerovatnoća zamjene "1" sa "0" i obrnuto skoro je nikakva. Konsekventno tome, tačnost prenosa signala zavisi samo od broja binarnih cifara upotrebljenih da se predstavi signal.

## UVODNA RAZMATRANJA

- Dakle, kod SAU fundamentalni zahtjev koji se postavlja kod njihove sinteze je zahtjev prema komunikacijama, tj. tačan i pouzdan prenos informacija iz jedne tačke u drugu prenošenjem signala. Mada je ovaj zahtjev uvijek bio od izuzetne važnosti, on je sada postao još važniji od kako su SAU postali dominantno distribuirani. Danas, većina sistema upravljanja koristi električne signale za prenos informacija, mada i dalje u nekim specifičnim aplikacijama, za prenos se koristi i pneumatski signal (eksplozivno opasne sredine). U budućnosti za prenos informacija sve će masovnije biti korišćeni optički signali zbog niza prednosti koje posjeduju.

- Korisnici i proizvođači industrijske automatike suočeni su sa ekstremno brzim inovacijama i tržišnom konkurencijom, za koju je tradicionalni proces harmonizacije na bazi sveukupnog konsenzusa često vrlo spor. Ovo se dalje komplikuje time što je za opremu automatike očekivani životni vijek relativno dug (10-15, pa i više godina), te zahtijeva koegzistenciju više generacija opreme.

## PRENOS ANALOGNIH SIGNALA

- **ANALOGNI ILI KONTINUALNI SIGNAL** je signal čiji informacijski parametar može da ima svaku vrijednost unutar datog opsega u svakom momentu vremena.
- Predmet prenosa signala je tačna korespondencija toga signala u nekoj udaljenoj lokaciji od izvora.
- Razmatranja koja će ovdje uslijedit, odnoseće se isključivo na električne signale, međutim, slični principi upotrebljavaju se za prenos pneumatskih i drugih signala.

## Unificirani analogni signal

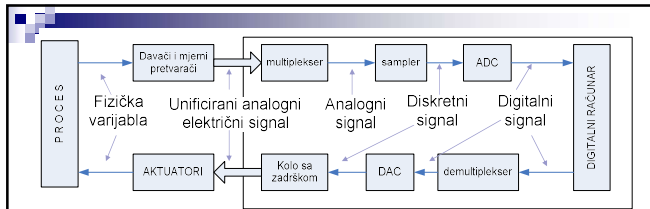
- Izbor unificiranog signala u analognim sistemima upravljanja jedno je od bitnih sistemskih pitanja.
- Istorijski gledano, unificirani analogni signal, prvi put, pojavio se u pneumatskim sistemima upravljanja. Već odavno je usvojen standardni signal 20-100 *kPa* (0,2-1,0 *bar*).

## Unificirani analogni signal

- Osnovni razlozi za uvođenje ovog signala su:
  - za generisanje ovakvog signala potreban je kompresor pritiska 500-1000 *kPa*, što omogućuje rad sistema bez opasnosti da dođe do kondenzacije (veći je dopustivi sadržaj zasićene pare u vazduhu),
  - postiže se maksimalna brzina prostiranja signala uz prečnik cijevi od 4-6 *mm*. Pri tome, postoji jedno ograničenje na frekventni sadržaj pneumatskog signala koji je manji od  $4/L$  [*Hz*] gdje je *L* - dužina prenosnog puta u [*m*],
  - manja je potrebna snaga pneumatskog izvora.
- Upoređujući jedan od prvih korišćenih pneumatskih signala (70-350 *kPa*) koji je korišćen u SAU početkom ovoga vijeka u rafinerijama nafte u SAD sa signalom (20-100 *kPa*), potrebna je oko 6 puta manja snaga pneumatskog izvora za ovaj posljednji. Takođe, porastom pritiska rastu histereze i vremenske konstante pneumatskog sistema.

## Unificirani analogni signal

- Obzirom na prednosti koje danas pružaju elektronski sistemi upravljanja u odnosu na sisteme realizovane u drugim tehnologijama (pneumatski, hidraulički), najvažnije sistemsko pitanje je način komuniciranja unutar i između SAU.



- Kod analognih SAU prenos informacija između pojedinih uređaja u sistemu, obično je ostvaren analognim ili digitalnim električnim signalom. Na je slici dat detaljniji SAU, direktna i povratna grana, kao i tipovi signala koji se pojavljuju u komunikacijama unutar SAU.

## Unificirani analogni signal

- Danas u tehničkoj praksi i dalje postoji veliko šarenilo, kako u pogledu vrste tako i u pogledu područja i opsega signala. Pri izboru jedinstvenog standardnog analognog signala unutar SAU, bilo je potrebno riješiti tri osnovna problema:
  - da li koristiti jednosmjerni ili naizmjenični signal?
  - da li strujni ili naponski signal?
  - koje područje i opseg signala odabrati?

## Unificirani analogni signal

- Jednosmjerni signal relativno je teže pojačavati od naizmjeničnog, pogotovo ako je malog nivoa, jer tada je uticaj drifta značajan.
- S druge strane, naizmjenični signal lakše je pojačavati, ali je otežana njegova filtracija od smetnji koje potiču od uticaja energetskih vodova, radiofrekventnih i drugih smetnji. Većina šumova u industrijskim postrojenjima koji se indukuju u prenosnim putevima frekventnog je opsega  $f_B \in [50\text{Hz}-10\text{MHz}]$ . Glavna snaga šuma koncentrisana je u području signala frekvencije od  $50\text{Hz}-100\text{Hz}$  (koji potiču od energetskih vodova, upravljača, fluorescentnih sijalica, itd.). Smetnje koje potiču od samog upravljanog procesa ili objekta, frekventnog su opsega  $0,005\text{Hz}-1\text{Hz}$ . Amplitude ovih šumova kreću se od nekoliko  $mV$  do nekoliko  $V$ .
- Napretkom tehnologije proizvodnje poluprovodničkih elemenata, a naročito proizvodnje integrisanih kola i instrumentacionih operacionih pojačavača, prevaziđen je problem pojačavanja malih jednosmjernih signala kao što su oni iz raznih davača.
- Tako je danas prevladao jednosmjerni električni signal kao standardni.

## Unificirani analogni signal

- Odgovor na pitanje: "Da li naponski ili strujni signal", dobijen je iz prednosti koju ima strujni signal kada se koristi za prenos informacije na daljinu.
- Prvo, problem pada napona duž prenosne linije, eliminisan je kao izvor greške, budući da je struja, nosilac informacije, ista u svim tačkama redne veze, prenosne linije.
- Drugo, prijemnik informacije je niskoimpedansni, što minimizira razvoj šuma na izlazu zahvaljujući uticajima spoljašnjih smetnji.

## Unificirani analogni signal

- Na osnovu ovoga i ranijeg istorijskog kontinuiteta da je pneumatski signal (opseg 5:1), odabran je standardni strujni signal u SAU (4-20) mA, što je sankcionisano i Publikacijom IEC 381 i JUS Standardom. Pri tome, opciono je uzet i signal (0-20) mA.
- Standardni naponski signal je (0-10) V, ili (-10 do +10) V. U elektroprivredi se susreću i drugi signali kao -5 mA do +5 mA ili -10 mA do +10 mA.
- Signal (4-20) mA naziva se signal sa "živom" nulom, a signal (0-20) mA signal s pravom nulom. Mjerni pretvarači (4-20) mA svoju vezu s potrošačem ostvaruju putem dvostruke linije, a oni (0-20) mA putem trostruke linije.

## PRENOS DIGITALNIH SIGNALA KROZ SAU

- U cilju smanjenja greške u prenosu analognog signala, smanjenja uticaja smetnji i šuma na koristan signal (tj. odnos S/N - Signal Noise ratio), sve više se koristi prenošenje podataka u SAU u digitalnoj formi. Pojavom digitalnih distribuiranih SAU na bazi mikroprocesora i mikroracunara, ovo je postao isključivi zahtjev, obzirom da se obrada vrši na digitalnom nivou. Treba naglasiti, da ako se analogni signali prenose digitalno, prijemnik mora izvršiti ponovnu konverziju digitalnog signala u analogni. Pri tome, greška konverzije pretvara se u analogni šum, ali odnos signal/šum, S/N, postaje mjerljiv.

## PRENOS DIGITALNIH SIGNALA KROZ SAU

- Proces kvantizacije analognog signala odvija se u dvije etape:
  - uzimanje odbiraka analognog signala u vremenu,
  - zamjena svakog odbirka najbližim brojem skupa diskretnih vrijednosti.
- Učestalost uzimanja odbiraka u vremenu i kvantizacija odbiraka, zavise od frekventnog sadržaja analognog signala i tačnosti uzimanja odbiraka, tj. nivoa kvantovanja.

## PRENOS DIGITALNIH SIGNALA KROZ SAU

- *DIGITALNI SIGNAL* je signal disrektizovan po vremenu i amplitudi čiji je informacioni parametar kodiran broj.
- Pri tome diskretizacija ili kvantovanje signala je postupak pri kome se cijeli opseg veličine dijeli u konačan broj podopsega, a veličina unutar svakog podopsega predstavlja odgovarajućom vrijednošću koja se naziva kvantovana vrijednost.
- Amplitudno-kvantovani signal je signal čiji je informacioni parametar kvantovan, odnosno signal koji je diskretizovan po amplitudi.
- Binarni signali daleko su iznad nivoa šumova koji se javljaju u prenosnim linijama, pa je prenešeni digitalni signal neosjetljiv na drift ili grešku, sve dok binarni signali "1" i "0" nisu dovoljno prigušeni i izobličeni usljed dužine prenosnog puta da ih prijemnik ne raspoznaje. Dalje, neki bit-ovi namijenjeni su za kodiranje tj. provjeru svake primljene "riječi" ili broja, i kada se pojavi greška u prenosu, vrši se retransmisija.

## PRENOS DIGITALNIH SIGNALA KROZ SAU

- Primjena digitalnih signala tj. digitalnog prenosa, omogućava kompatibilnost sistema upravljanja sa računarima na višem hijerarhijskom nivou, kao i lakšu implementaciju upravljačkih algoritama, te mnoge prednosti koje se imaju korišćenjem operatorovog interface-a.
- Hijerarhijska funkcionalna struktura jednog SAU, bez obzira na topologiju, korišćenjem digitalnih sistema može se veoma jednostavno realizirati, jer komunikacioni podsistem omogućuje povezivanje svih hijerarhijskih nivooa.
- Osnovni zahtjevi koji se postavljaju pred sistem za prenos digitalnih signala (podataka) su:
  - brzina prenosa podataka ili zahtjevani propusni opseg,
  - dopuštena greška u prenosu podataka ili potreban kvalitet u prenosu podataka.

## PRENOS DIGITALNIH SIGNALA KROZ SAU

- Brzina prenosa se obično definiše kao broj bita u jedinici vremena ili baud (bod) brzina.
- *BAUD* je obično interval koji pripada podatku od jednog bita. U bit sinhronim sistemima, baud brzina je ravna bit brzini, tj. brzini izraženoj u bit/s.
- Brzina prenosa odnosi se na maksimalnu dopustivu brzinu prenosa uz određenu grešku. Pri tome, specifikacija dopustive greške zavisi od aplikacije.
- Prenos signala na veće udaljenosti vrši se u formi diskretnog signala, a tehnika prenosa može biti analogna ili digitalna.

## Bazični principi modulacije

- Komuniciranje je definisano kao proces u kojem se analogne ili digitalne poruke prenose nekim medijem iz jedne ili više tačaka u prostoru i vremenu, nazvane izvori, u druge tačke koje se zovu prijemnici ili korisnici. Efikasnost prenosa zahtijeva da informacija (poruka) proizvedena u izvoru bude procesirana (modulisana) prije nego što će biti prenešena.
- Modulacija je proces ili rezultat procesa u kojem su neke od karakteristika talasa modifikovane u saglasnosti sa karakteristikom drugog talasa ili signala.

## Bazični principi modulacije

- Projektovanje širokopropusne prenosne linije u funkciji je odziva na širok spektar frekvencija koje su sadržane u signalu nosioca informacije. Danas je ovaj opseg frekvencija praktično od 0 Hz do nekoliko GHz.
- Za potrebe distribuiranih sistema za upravljanje tehnoloških procesa reda je do 10-ak MHz. Prenosni mediji koji omogućuju prenos signala frekventnog opsega po segmentima ukupnog frekventnog područja, mogu biti: koaksijalni kabl, fiberoptički vodovi, radio talasa, talasovodi, tvinskajalni kablovi, itd.
- Efektivna iskorištenost resursa prenosnog medija visoke frekventne propusnosti, zahtjeva pomjeraj frekvencije u drugo područje za prenos, i nakon prenosa, ponovo vraćanje na izvornu frekvenciju.

- U principu neki signal može se prenositi na dva načina:

- direktno, bez bilo kakve modifikacije prenošenog, baznog signala, - tzv. baseband postupak prenosa,
- modulacijom signala koji se prenosi.

- Tehnike modulacije signala mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe:

- analogne,
- impulsno-digitalne

## Modulacija

- Signal koji se prenosi sastoji se od dvije komponente:

1. **Signal informacije.**
2. **Signal nosioca.**

- Prenos signala kroz komunikacijski medij uključuje modulaciju nosioca.
- **Proces kombinovanja informacijskog signala i signala nosioca naziva se modulacija.**
- Signal visoke frekvencije koji prenosi (nosi) informaciju naziva se nosilac.
- Signal nosioca je oblika:

$$a(t) = A \sin(ft + \omega)$$

A= amplituda.  
f = frekvencija,  $\omega$ = faza.

## Modulacija

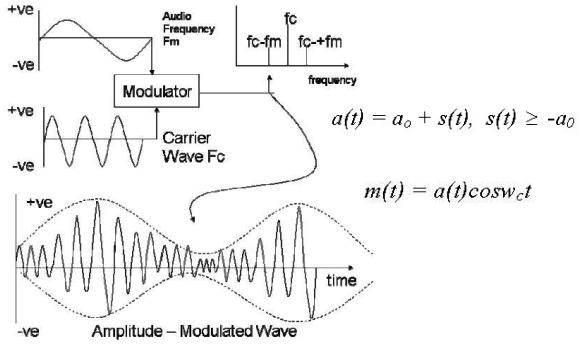
- Prenosni mediji nisu savršeni te se signal **izobličava**. Kod digitalnih signala ta promjena uzrokuje greške.
- Kod propagacije signala dolazi do **slabljenja**. Svaka Fourierova komponenta priguši se za različiti iznos, pa na prijemnoj strani dobijamo različit signal.
- Zbog toga je **nepoželjno koristiti signale sa širokim spektrom frekvencija**, a takvi su binarni signali.
- Zbog toga se za prenos podataka (posebno kod telefonskih linija) koriste **analogni**, a ne digitalni signali. Uvodi se signal nosilac i on se moduliše u skladu sa signalom podataka (binarnih).

## Analogne tehnike modulacije

- Vrste modulacije:
  1. Amplitudska.
  2. Frekvencijska.
  3. Fazna.
- Miješanje informacijskog signala sa signalom nosioca na način da se mijenja amplituda nosioca frekvencijom informacijskog signala - **amplitudska modulacija**.
- Kod **frekvencijske modulacije** kombinuju se modulišući signal i signal nosioca na način da se frekvencija nosioca mijenja gore, dole svojom normalnom frekvencijom.
- **Fazna modulacija** je vrsta modulacije, kod koje se vrši promjena **faze** visokofrekventnog sinusnog signala u skladu s promjenama oblika niskofrekventnog signala poruke.

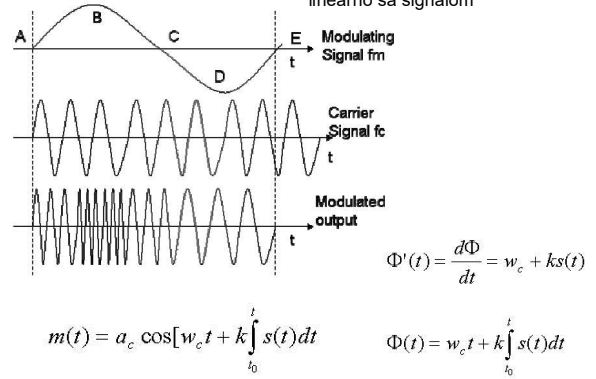


## Amplitudska modulacija

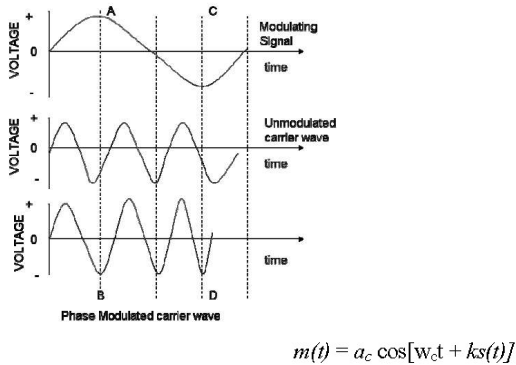


## Frekvencijska modulacija (FM)

proces u kome se vremenski izvod faze modulisanog signala mijenja linearno sa signalom



## Fazna modulacija (PM)

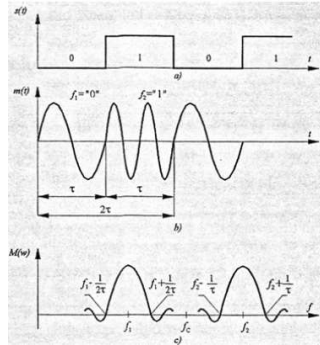


## Impulsno-digitalne tehnike modulacije

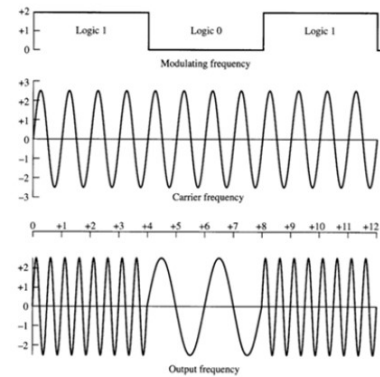
1. **IMPULSNO-AMPLITUDSKA MODULACIJA (PULSE AMPLITUDE MODULATION -PAM)** je proces u kojem je amplituda prenesenog impulsa srazmjerna signalu.
2. **IMPULSNO-POZICIONA MODULACIJA (PULSE POSITION MODULATION - PPM)** je proces u kojem je vrijeme pojave prenesenog impulsa od nekog fiksnog trenutku srazmjerno signalu.
3. **IMPULSNO-ŠIRINSKA MODULACIJA (PULSE DURATION MODULATION -PDM)** je proces u kojem je trajanje impulsa srazmjerno nivou signala.
4. **IMPULSNO-KODNA MODULACIJA (PULSE CODE MODULATION - PCM)** je proces koji je baziran na digitalizaciji odabraka signala i njihovom slanju u vidu rezultirajućih diskretnih brojeva kao telegrafskih signala. Tačnost sa kojom su uzimani uzorci signala zavisi od njegovog frekventnog sadržaja. Greška učinjena predstavljanjem odabraka najbližim diskretnim brojem, naziva se šum kvantizacije koji se pojavljuje na kraju prenosnog kanala.

## Impulsno-digitalne tehnike modulacije

- 5. TONSKA MODULACIJA (FREQUENCY SHIFT KEYING - FSK)** je proces u kojem logičkoj "1" u trajanju  $\tau$  odgovara sinusni signal jedne frekvencije, npr.  $f_2 \approx "1"$ , a logičkoj "0" odgovara sinusni signal frekvencije  $f_1 \approx "0"$ . Pri tome  $f_2 \neq f_1$ .

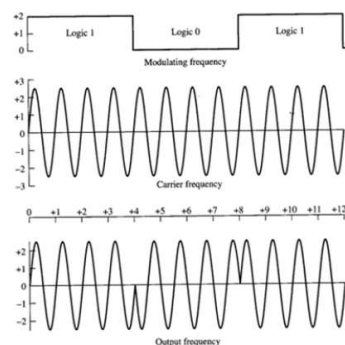


## FSK modulacija



## Impulsno-digitalne tehnike modulacije PSK modulacija - dvofazna

- 6. FAZNA MODULACIJA (PHASE SHIFT KEYING - PSK) - PSK** modulacija je proces u kojem se binarna jedinica predstavlja sinusoidom sa faznim pomakom od  $0^\circ$ , a binarna nula sinusoidom sa faznim pomakom od  $180^\circ$ .



## Kodiranje signala

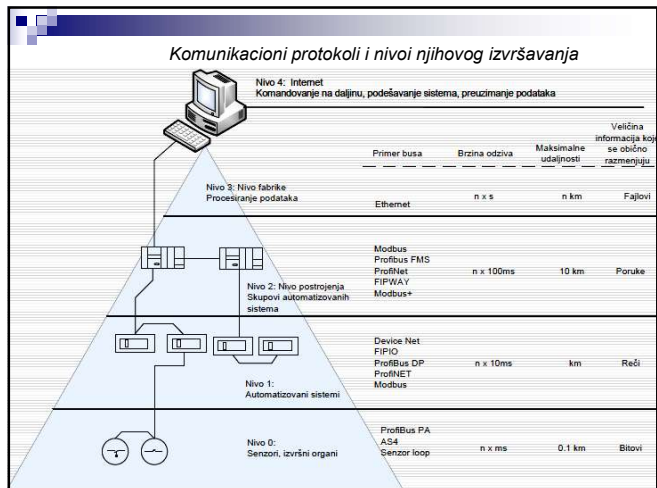
U toku prenosa informacije nemoguće je izbjeći uvođenje u prenosni kanal (liniju) razne vrste šumova (smetnji), bilo da se radi o električnim kablovima, radio putevima, optičkim vezama, itd. Nivo šuma utisnut u prenosnu liniju može biti toliki da ozbiljno ugrozi prenos signala. Postoji mnogo načina da se utiče na promjenu signala da ovaj bude podesan za prenos kanalom u kojem se pojavljuje šum. Najjednostavniji način je povećanje snage izvora signala. Ovaj način je neekonomičan i ograničen nivoom izvora snage.

Polazeći od toga da distribuirani sistem za upravljanje tehnoloških procesa upravlja velikim količinama energije i materijala, bitno je da praktično nema greške u prenosu signala. Konsekventno tome, primarni zahtjevi koji se u tom slučaju postavljaju su: sigurnost prenosa poruka unutar SAU, otpornost na smetnje koje dolaze iz okoline i adekvatno prezentiranje poruka operatoru.

Moguća je, međutim, obrada digitalnih signala tako da prijemnik signala indicira pojavu greške u signalu, ili njenu detekciju, i da je koriguje. Mogućnost detekcije i korigovanja greške u komunikacionom podsystemu SAU, može biti ostvarena odgovarajućom obradom prenošenog signala (informacije) koja se naziva kodiranje.

## Komunikacioni protokoli i nivoi njihovog izvršavanja

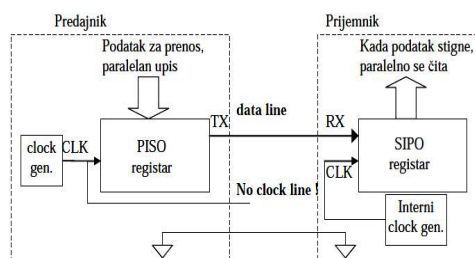
- Određena univerzalna mreža ne može da zadovolji sve potrebe u procesnoj industriji. Iz tog razloga je razvijen veći broj komunikacionih sistema prilagođenih za odgovarajući skup zadataka. Prema namjeni sistema, odnosno količine i tipa podataka koji se razmjenjuju, brzine prenosa i reakcije sistema, moguće je izvršiti klasifikaciju komunikacionih sistema u savremenoj automatizaciji. Na slici je dat grafički prikaz klasifikacije.



## Asinhroni serijski protokoli

- Zbog svojih loših strana koje se ogledaju u problemima sa šumom, razvođenju velike količine žica, problemima pri sinhronizaciji prijemnika i predajnika, za prenos podataka na velike udaljenosti paralelni prenos se gotovo i ne koristi. To je uzrokovalo razvoj protokola koji obezbeđuju serijski prenos podataka. Njega karakteriše prenos svih bita podataka kroz istu žicu, ali u različitim vremenskim intervalima. Prenosi se bit po bit, u vidu vremenske sekvence. Serijski komunikacioni protokol predstavlja precizno definisane procedure i sekvence bita, karaktera i upravljačkih kodova korišćene za prenos podataka preko komunikacione linije.
- Protokol je asinhroni ako predajnik ne prosljeđuje *clock* signal prijemniku, već samo podatke koji se mijenjaju vremenom. Tako na primjer, predajnik preko svog PISO registra (*Parallel In Serial Out*) šalje podatke ka SIPO (*Serial In Parallel Out*) registru u okviru prijemnika.

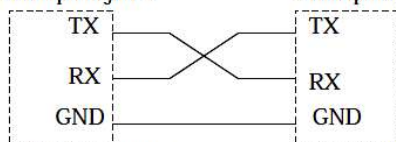
## Princip asinhronne serijske veze



## Asinhrona serijska veza (full-duplex)

Primopredajnik 1

Primopredajnik 2



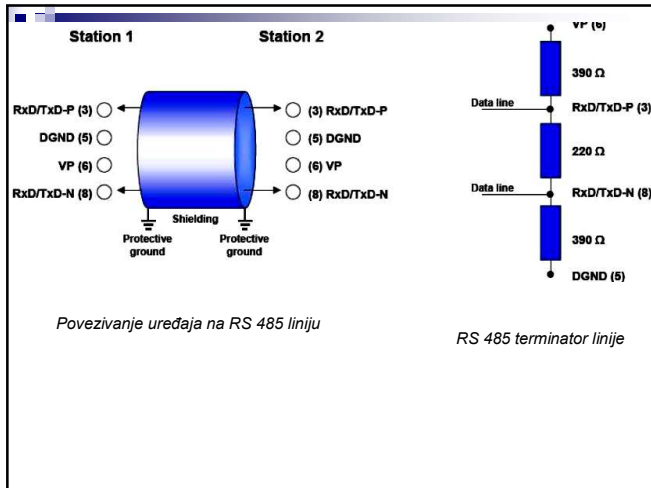
- Za asinhronu serijsku vezu postoji linija za podatke, ali ne postoji *clock* linija. Zbog toga mora postojati drugi način za sinhronizaciju prijemnika i predajnika. Na slici je prikazana kompletna asinhrona serijska veza dva uređaja (*full duplex*) koji mogu da primaju i da šalju podatke koristeći tri linije.

- RS232 je prvi standardni protokol za serijski prenos podataka (*serial interface*). Karakteristike ovog interfejsa su standardizovane od strane Asocijacije elektro industrije EIA. RS232 protokol je namijenjen za sporu konekciju jednog data terminala (PC) sa relativno bliskom opremom za komunikaciju (modemom). To nije predstavljalo problem dok su računari bili povezani sa modemima. Ali vremenom dolaze do izražaja nedostaci RS232 protokola: malo rastojanje za prenos podataka (do 15m), mala brzina prenosa (do 20Kb/s) i mogućnost povezivanja samo jednog predajnika i prijemnika. Iz tog razloga je ustanovljen novi protokol RS422. On se koristi za prenos podataka na većim rastojanjima (do 1200m) i za veće brzine (do 10Mb/s), što je ostvareno upotrebom po dvije linije za prijem i predaju podataka odnosno primjenom diferencijalnog prenosa. RS422 uveo je mogućnost komunikacije 1 predajnika i 10 prijemnika.

- Ipak, najznačajniji interfejs za industrijske primjene u ovoj grupi je RS485, čija je najvažnija razlika u odnosu na RS422 interfejs mogućnost komuniciranja 32 predajnika i 32 prijemnika (*multi-drop*). Kreiranje više predajnika na istu liniju je ostvareno uvođenjem trostatičkih predajnika (tzv. stanje visoke impedance). Po RS485 standardu, aktivan predajnik preuzima liniju i postavlja je u zavisnosti od poruke u stanje 0 ili 1. Preostali neaktivni predajnici se postavljaju u stanje visoke impedanse i ne smetaju pri prenosu. Osobine RS485 po pitanju maksimalne daljine i brzine prenosa, kao i osjetljivosti na smetnje su ostale iste u odnosu na RS422.
- Navedeni serijski protokoli predstavljaju osnovu serijskih protokola višeg nivoa, ali oni sami i dalje ne odgovaraju u potpunosti radu u industrijskom okruženju. Zbog toga se RS232 i RS485 dalje mogu nadograđivati uvođenjem galvanske izolacije, uvećanjem robusnosti u odnosu na šum, i sl.

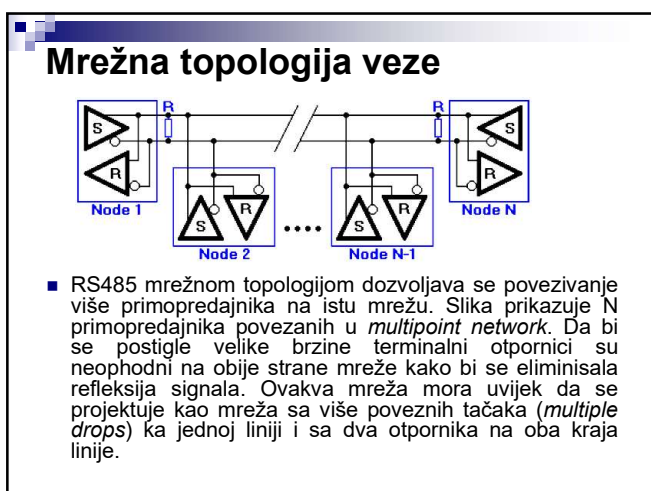
## RS485 protokol

- RS485 protokol predstavlja standard definisan od strane EIA. Ujedno, on je najšire korišćen serijski protokol u sistemima za akviziciju i prenos podataka, za kontrolne aplikacije koje rade u realnom vremenu i za opštu komunikaciju između više udaljenih čvorova.
- RS485 predstavlja polu-dupleks asinhronu vezu. Podaci mogu da se prenose u oba smjera, ali ne istovremeno. RS485 prenos podataka se vrši preko dvije oklopljene upredene parice (RxD/TxD-P i RxD/TxD-N), prikazane na slici. Moguće su brzine prenosa od 9.6Kb/s do 2Mb/s. Dozvoljena dužina kabla između dva repetitora je od 100 do 1200m, zavisno od korišćene brzine prenosa. Svi uređaji su spojeni u zajedničku sabirnu strukturu, a po segmentu je dozvoljeno paralelno povezati maksimalno 32 uređaja. Na početku i kraju linije mora postojati terminator linije (slika). Oba terminatora imaju sopstveno napajanje koje osigurava prenos bez greške. Podaci se prenose kao niz bita, s tim da RS485 koriste različite fizičke nivoe (slika).



*Uporedne karakteristike RS232, RS422 i RS485*

	RS232	RS422	RS485
Differential	no	Yes	yes
Max number of drivers	1	1	32
Max number of receivers	1	10	32
Modes of operation	half duplex full duplex	half duplex	half duplex
Network topology	point-to-point	multidrop	multipoint
Max distance	15 m	1200 m	1200 m
Max speed at 12 m	20 kbs (1 kbs)	10 Mbs 100 kbs	35 Mbs 100 kbs
Receiver input resistance	3.7 kΩ	4 kΩ	12 kΩ
Driver load impedance	3.7 kΩ	100 Ω	54 Ω
Receiver input sensitivity	±3 V	±200 mV	±200 mV
Receiver input range	±15 V	±10 V	-7..12 V
Max driver output voltage	±25 V	±6 V	-7..12 V
Min driver output voltage (load)	±5 V	±2.0 V	±1.5 V



- Ne preporučuje se zvijezda topologija, u kojoj se refleksija signala ne može suzbiti i koja umanjuje kvalitet veze. Ako se koriste prijemnici sa 12 kΩ ulaznom otpornošću moguće je povezati do 32 primopredajnika na istu mrežu. Postoje i RS485 primopredajnici veće ulazne impedancije kojom se ovaj broj uvećava do 256. Postoje i RS485 pojačavači (*repeaters*) koji spajaju dvije mreže i omogućavaju ukupan broj povezanih primopredajnika i do 1000 na udaljenosti od nekoliko kilometara. Mrežna topologija predviđa samo jednu liniju za prenos. To znači da RS485 može biti samo *half duplex* veza kojom se ne može obezbijediti istovremeni prijem i predaja. Samo jedan podatak može biti prisutan na liniji. Ono što je dobro je da nije bitno ni ko šalje taj podatak, ni ko ga prima, sve kombinacije su dozvoljene. Bitno je da softver višeg nivoa mora da obezbijedi dodatne funkcije kao što je provjera aktivnosti linije prije slanja, adresu prijemnika unutar protalog paketa kojom se šalje podatak, mogućnost *broadcast* poruke, itd.

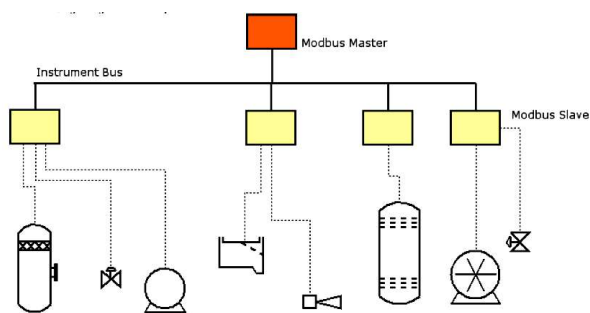
## MODBUS protokol

- Protokol MODBUS je *master/slave* sa *half-duplex* prenosom iz grupe *fieldbus* protokola je razvijen od strane Modicon-a, 1979 godine. Podržava jedan *master* i do 247 *slave* uređaja u jednoj MODBUS mreži. Protokol definiše okvir poruke kao i skup funkcijskih kodova koje te poruke mogu prenositi. Moderna verzija MODBUS-a koristi Ethernet kao bazični sloj a MODBUS/TCP podržava i internet okruženje. Koriste se tri tipa Modbus prenosa, i to:
  - ASCII – jedan bajt poruke se sastavlja od dva ASCII karaktera;
  - RTU – poruke se sastoje od binarnih bajtova i
  - MODBUS/TCP (poruka se ugrađuje u standardni okvir TCP/IP poruke).
- Modbus ASCII i RTU prenos se koriste u RS232 i RS485 mrežama dok MODBUS/TCP protokol funkcioniše na svim fizičkim nivoima koje podržava TCP/IP protokol kao što su: 10BASE-T i 100BASE-T LAN kao i serijski PPP i SLIP mrežni nivoi. MODBUS protokol podržavaju razni PLC i inteligentni senzori.

## Struktura protokola

MODBUS struktura podrazumijeva jedan *master* i više *slave* uređaja na jednoj istoj liniji veze. Liniju u potpunosti kontroliše *master* tako što se po potrebi obraća pojedinim *slave* uređajima. Ukoliko *master* hoće da pročita stanje nekog mjerača on na liniju šalje poruku sa njegovom adresom. Mjerač prepoznaje svoju adresu i u odgovoru šalje stanje svog ulaza, tj. mjerene veličine. Po potrebi, odgovor može biti i prosta potvrda prijema (*acknowledgment*). Ako *master* želi da otvori neki ventil njemu je kao odgovor dovoljna samo potvrda da je poruka stigla na destinaciju i funkcija izvršena, tj. da je ventil uspješno otvoren.

Modbus sistem sa jednim master uređajem i više slave uređaja

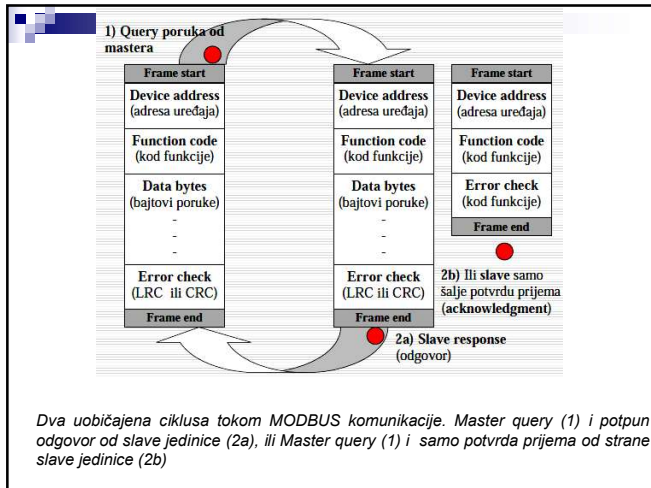


## Struktura poruke

■ MODBUS poruka ima jasno definisanu strukturu koja ne zavisi od tipa fizičkog medija za prenos (RS232 ili TCP/IP). U slučaju prostih konekcija (RS485 ili RS232) cijela mreža je namijenjena samo za MODBUS poruke i MODBUS poruka se šalje upravo onako kako je definisana. U slučaju da se MODBUS poruka šalje preko neke druge mreže, ona se mora ugraditi u standardnu poruku za prenos tom mrežom. MODBUS poruka ima četiri osnovna elementa, koji se šalju po istom rasporedu. Poruka se sastoji od:

- *Device address* - adrese primaoca;
- *Function code* - koda funkcije koju treba izvršiti;
- *Data* - eventualno potrebnih podataka za funkciju i
- *Error check* - polja za provjeru greške.

■ Početak i kraj poruke se prepoznaju po *Frame start* i *Frame end* karakteru ili signala koji zavise od tipa prenosa. MODBUS konverzaciju uvijek počinje *master* jedinica. Ona šalje poruku koja se zove *master query* i kojom se obraća jednoj *slave* jedinici. Jedna *slave* jedinica se prepoznaje na osnovu svoje adrese koja se slaže sa *Device address* poljem i sprema odgovor. Ostale neprozvane *slave* jedinice ne odgovaraju i ostaju sa izlazima u stanju visoke impedance. Odgovor može biti kompletna MODBUS poruka, koja sadrži podatke koje *master* traži, a može biti i samo prosta potvrda prijema (*acknowledgment*) u kojoj se sastoji od 1, 2 i 4 elementa MODBUS poruke (često *master* ne traži podatke, nego samo neku akciju). Šematski prikaz tipične MODBUS komunikacije dat je na slici



	Modbus/ASCII	Modbus/RTU
Tip karaktera	ASCII 0...9 and A..F	Binarni brojevi 0...255
Frame start	character ':'	3.5 chars silence (tišine)
Frame end	Characters CR/LF	3.5 chars silence (tišine)
Dozvoljena pauza	1 sec	1.5 times char length (1.5 trajanja karaktera)
Start bit	1	1
Data bitovi	7	8
Pariti bit	even/odd ili nema	even/odd ili nema
Stop bit	1 ili 2	1 ili 2
Tip polja za proveru greške	LRC Longitudinal Redundancy Check (8 bita)	CRC Cyclic Redundancy Check (16 bitova)

MODBUS/ASCII i MODBUS/RTU poruke

## MODBUS TCP

MODBUS TCP je internet protokol i može da se koristi za razmjenu podataka između dva uređaja bilo gdje. *Master* (klijent) šalje poruku do specificirane IP adrese i porta. Svaki *slave* uređaj (server) ima svoju specifičnu IP adresu. Po konvenciji mnogi *slave* uređaji koriste Ethernet port 502 kao standard. Kod MODBUS TCP poruka mora imati IP destinacionu adresu, i prenosi se putem Etherneta. Primjenom MODBUS TCP inženjer može od kuće da dobija podatke iz fabrike i/ili vrši kontrolu rada fabričkih procesa. MODBUS TCP/IP koristi internet TCP/IP protokol koji omogućava pouzdan prenos podataka preko interneta. Ovim se MODBUS protokol adaptira trendovima u kojima se većina uređaja povezuje na internet i preko koga vrše komunikaciju. Svaki uređaj koji ima Ethernet karticu može da komunicira preko MODBUS TCP.

## MODBUS TCP

Njegove karakteristike su: jednostavnost, podržava standardni Ethernet, otvorenog je tipa, veliki broj uređaja ga podržava i sl. Performanse MODBUS TCP/IP zavise od korišćenog hardvera ali i od samog saobraćaja na internetu. Sistem se ne može projektovati tako da se očekuje rad u realnom vremenu preko MODBUS TCP. Treba ga koristiti za održavanje, traženje kvarova, i sporu superviziju sistema. Mada, ukoliko bi imali *high speed* internet, koristili *high-speed* Ethernet svičeve i MODBUS protokol koji samo izbacuje podatke iz običnih registara ka masteru, u teoriji bi mogli dobiti 60% efikasan prenos. Pri 10BaseT Ethernet-u dobijamo 1.25Mb/s sirovih podataka, što znači prolazilo bi  $1.25M/2 \cdot 60\% = 360000$  registara u sekundi. Za 100BaseT brzina bi bila 10 puta veća. Ovaj račun podrazumijeva da Ethernet radi onoliko brzo koliko dozvoljava raspoloživi prenosni opseg.



Nivo protokola	Modbus/TCP	serijski Modbus (ASCII i RTU )
1. Fizički	Ethernet 10/100BaseT	RS -232C/RS485
2. Nivo podataka	Ethernet 802.3/802.2	nema
3. Mrežni	IP	nema
4. Transportni	TCP	nema
5. Nivo sesije	nema	nema
6. Nivo prezentacije	nema	nema
7. Aplikacijski nivo	Modbus/TCP	Modbus

**Modbus protokoli u odnosu na OSI model i TCP/IP**

## PROFIBUS protokol

PROFIBUS (*Process Field Bus*) je danas vodeći protokol te vrste u svijetu – sa oko pola miliona podržanih aplikacija i više od 2000 PROFIBUS proizvoda različitih proizvođača. 1987. godine u Njemačkoj je nastao PROFIBUS protokol kao rezultat projekta više firmi i institucija koje su kreirale bit-serijski *fieldbus* sistem. Ta vrsta komunikacije je uvrštena među međunarodnim standardima: IEC 61158 i IEC 61784.

U početku je nastao veoma složeni PROFIBUS FMS (*Message Specification*) koji nije bio pogodan za rad u realnom vremenu zbog komplikovanih zahtjeva tokom komunikacije. Ubrzo on nestaje i zamjenjuju ga efikasniji PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*), PROFINet i PROFIBUS PA (*Process Automation*) protokol.

## PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*)

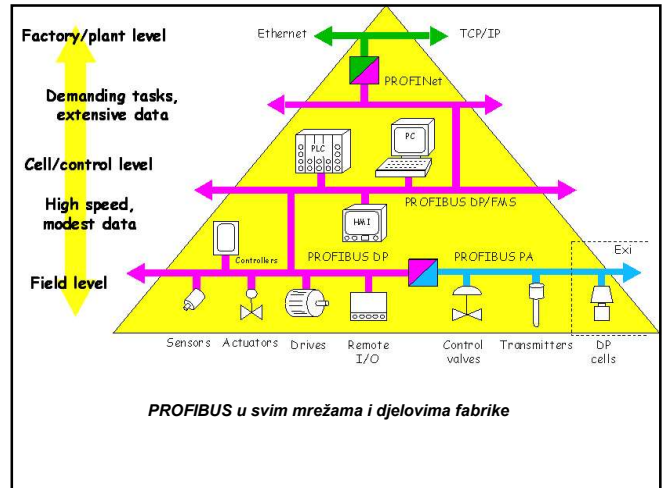
- PROFIBUS DP protokol se koristi u većem dijelu PROFIBUS aplikacija. Riječ je o prostom i optimalnom protokolu koji je namijenjen za brzu komunikaciju između programabilnih kontrolera ili centralizovanog računara sa više rasprostranjenih ulazno-izlaznih uređaja, aktuatora i senzora na nivou polja. Najviše se koristi u proizvodnoj automatizaciji. Podržava tri načina komunikacije na liniji i dostupan je u tri funkcijske verzije i to: DP-V0, DPV1 i DP-V2. Takođe podržava rad sa više *master* kontrolera. Karakteriše ga brzina prenosa do 12 Mbit/s što je veoma dobra brzina, i to preko oklopljene upredene parice (*twisted pair*) ili preko optičkih kablova.

## PROFINet protokol

- PROFINet protokol predstavlja industrijski Ethernet standard koji je nastao kombinacijom PROFIBUS DP sa Ethernet tehnologijom. PROFINet je zasnovan na TCP/IP i IT tehnologiji, ali je u suštini Ethernet koji radi u realnom vremenu i potpuno se integriše sa PROFIBUS-om.

## PROFIBUS PA protokol

- PROFIBUS PA protokol je namijenjen prvenstveno za brzu, jeftinu i pouzdanu komunikaciju koja je neophodna u procesnoj automatiki. Ovaj protokol se koristi za povezivanje višemjerne opreme sa procesnim kontrolerom preko jedne zajedničke linije i predstavlja odličnu zamjenu za stari analogni sistem u kojem je svaki mjerni signal prenošen posebno, strujnim signalom u opsegu 4-20 mA. S obzirom da koristi drugačiji sistem za prenos informacija zasnovan na strujnim signalima niske amplitude idealan je i za petro-hemijsku industriju. Mana mu je relativno spora komunikacija koju karakteriše brzina do 31.25 Kb/s. Prednost je što istom linijom sa signalom dovodi i napajanje udaljenim *slave* jedinicama.



## TRASIRANI I NETRASIRANI PRENOS

- Prenos podataka između predajnika i prijemnika vrši se preko prenosnog medijuma.
- Prenosni medijum može biti:
  - ❖ trasiran (*guided*)
  - ❖ netrasiran (*unguided*)
- Kod trasiranog prenosa prostiranje talasa se usmerava duž fizičkih puteva kakvi su upređeni kablovi, koaksijalni kablovi, optička vlakna, itd.
- Kod netrasiranog prenosa prostiranje elektromagnetnih talasa se vrši kroz vazduh, vakum, tečnost.

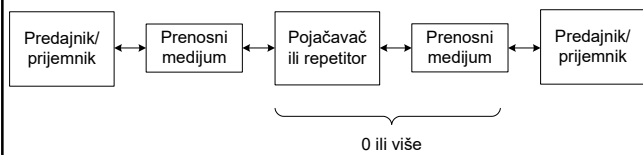
## DEFINICIJA VEZE

- Prenosni put između dve tačke naziva se veza (*link*)
- Deo veze koji je namenjen prenosu podataka zovemo kanal.
- Termin direktna veza (*direct link*) se odnosi na prenosni put između dva uređaja duž koga se prostiranje signala između predajnika i prijemnika ostvaruje bez posrednika.
- Kao posrednici na prenosnom putu ne smatraju se uređaji tipa pojačavač ili repetitor čija je osnovna uloga da povećaju snagu (amplitudu) signala duž prenosnog puta, tj. da kompenziraju slabljenje signala kroz prenosni medijum.

## KONFIGURACIJE KOD TRASIRANOG PRENOSA

### - veza tipa *point-to-point*-

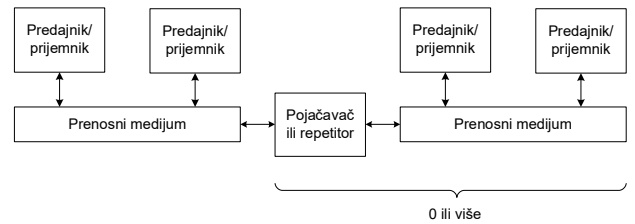
□ Kod usmerenog prenosa tipa tačka-ka-tački (*point-to-point*) ostvarena je direktna veza između predajnika i prijemnika



## KONFIGURACIJE KOD TRASIRANOG PRENOSA

### - veza tipa *multipoint*-

□ Kod višetačkaste (*multipoint*) konfiguracije medijum za prenos je deljiv između većeg broja uređaja

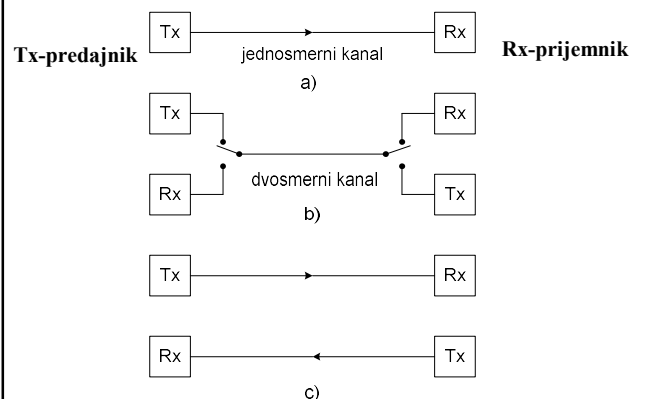


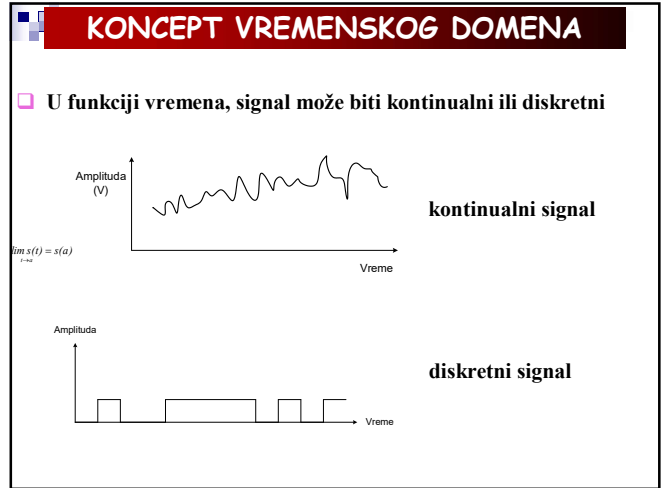
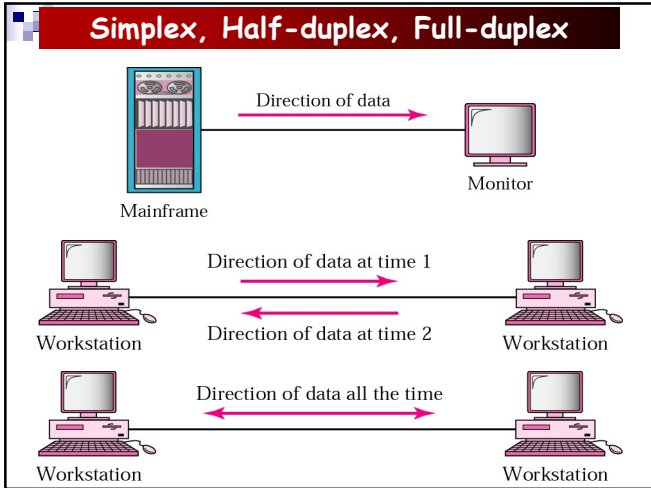
## NAČINI KOMUNICIRANJA

□ Razlikujemo tri načina prenosa :

- ❖ *simpleks (simplex)*- signali se prenose (predaju) samo u jednom smeru; jedna stanica je predajnik, a druga prijemnik.
- ❖ *polu-dupleks (half-duplex)* - obe stanice mogu vršiti predaju/prijem po istom kanalu, ali ne istovremeno, (kada je jedna predajnik druga je prijemnik i obratno).
- ❖ *potpuni dupleks (full-duplex)* - obe stanice mogu istovremeno vršiti predaju koristeći posebne kanale po jedan za svaki smer prenosa.

## NAČINI KOMUNICIRANJA -prod.





### KONCEPT FREKVENTNOG DOMENA

□ Signal se sastoji od većeg broja komponenata čija je frekvencija različita

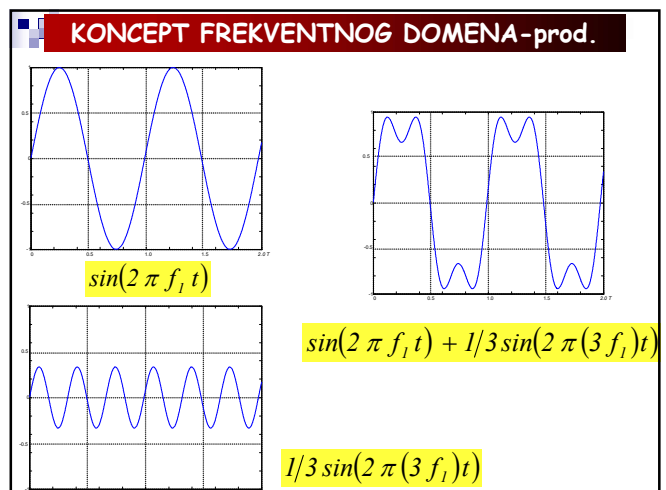
**Primjer**

$$s(t) = \sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi (3f_1) t)$$

□ Komponente signala su sinusni talasni oblici frekvencije  $f_1$  i  $3f_1$

**Zapažanja:**

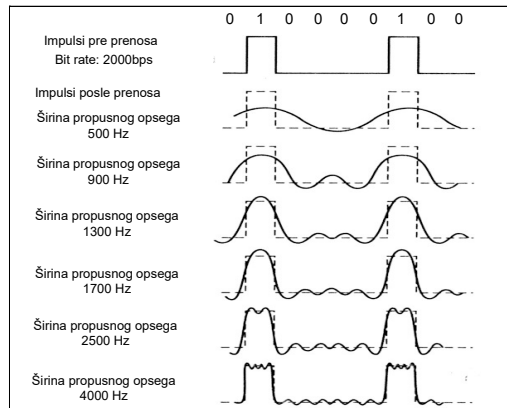
- ❖ Druga frekvencija je celobrojni umnožak prve.
- ❖ Perioda ukupnog signala jednaka je periodi osnovne frekvencije



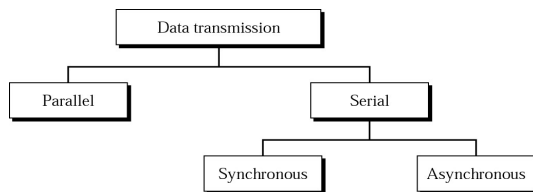
## SPEKTAR SIGNALA

- Spektar signala predstavlja opseg frekvencija koje taj spektar sadrži.
- Apsolutni propusni opseg (*absolute bandwidth*) signala je onaj koji odgovara širini spektra.
- Kod najvećeg broja signala propusni opseg je beskonačan.
- Najveći deo energije signala sadrži se u relativno uskom frekventnom opsegu. Ovaj opseg je poznat kao efektivni propusni opseg (*effective bandwidth*), ili skraćeno propusni opseg.

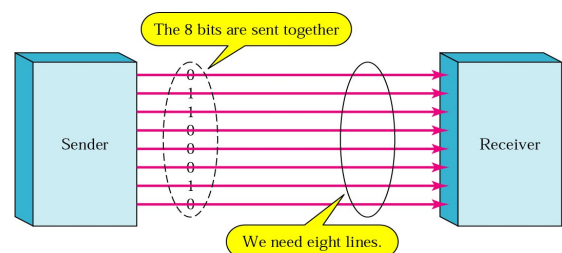
## EFEKAT PROPUSNOG OPSEGA NA OBLIK DIGITALNOG SIGNALA

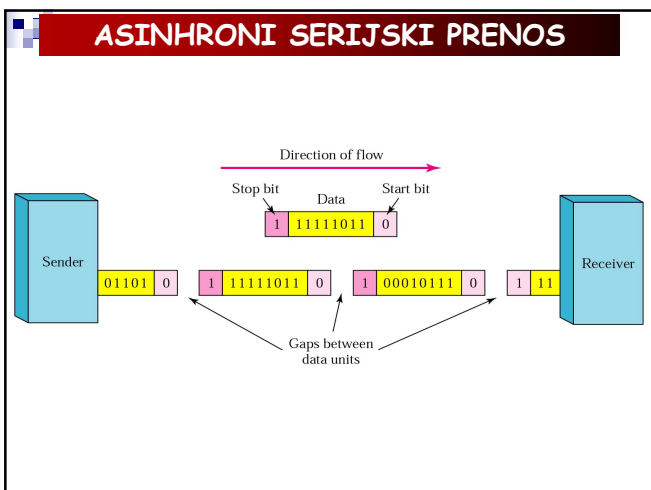
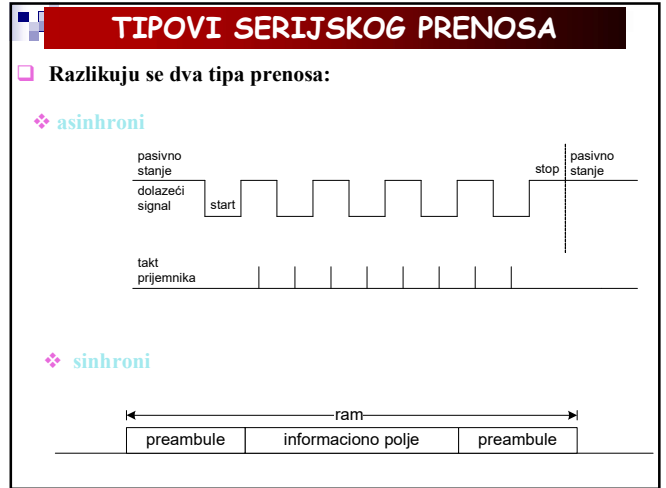
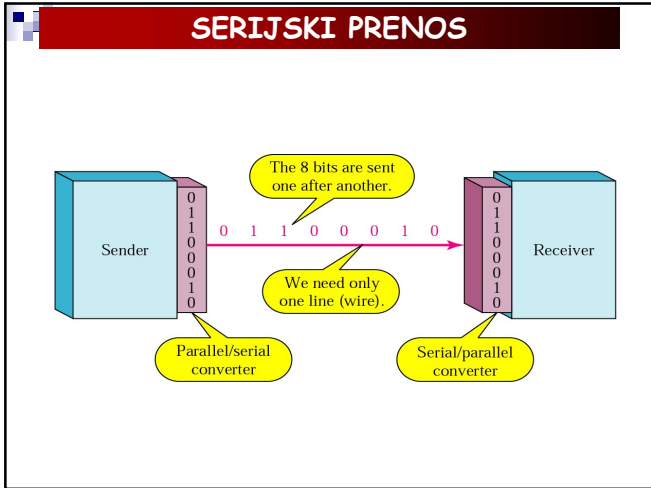


## TIPOVI PRENOSA PODATAKA



## 8-bitni PARALELNI PRENOS





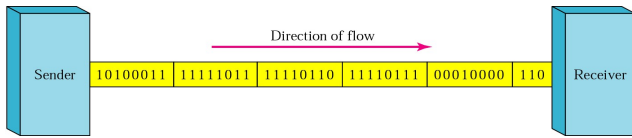
## ASINHRONI SERIJSKI PRENOS - napomene

**Note:**

*In asynchronous transmission, we send 1 start bit (0) at the beginning and 1 or more stop bits (1s) at the end of each byte. There may be a gap between each byte.*

*Asynchronous here means “asynchronous at the byte level,” but the bits are still synchronized; their durations are the same.*

## SINHRONI SERIJSKI PRENOS



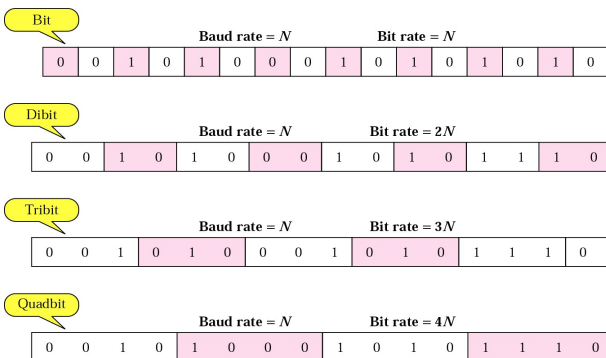
Note:

*In synchronous transmission, we send bits one after another without start/stop bits or gaps. It is the responsibility of the receiver to group the bits.*

## BRZINA PRENOSA I BRZINA SIGNALIZIRANJA

- Brzina prenosa podataka (*data rate* ili *transmission rate*) se definiše kao broj prenetih bitova u toku određenog vremenskog perioda podeljen sa tim vremenom, a meri se u bitovima u sekundi (*bps*).
- Brzina signaliziranja (*signaling rate*) se odnosi na brzinu prenosa jednog signalnog elementa, a meri se u *baud*-ovima

## Bit, Dibit, Tribit, Quadbit,....



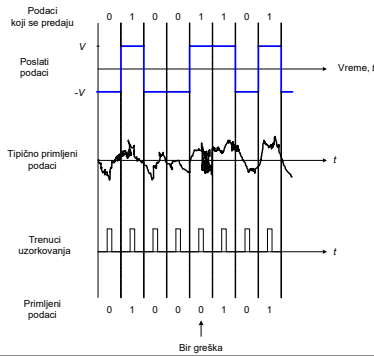
## Table Bit and baud rate comparison

Modulation	Units	Bits/Baud	Baud rate	Bit Rate
ASK, FSK, 2-PSK	Bit	1	$N$	$N$
4-PSK, 4-QAM	Dibit	2	$N$	$2N$
8-PSK, 8-QAM	Tribit	3	$N$	$3N$
16-QAM	Quadbit	4	$N$	$4N$
32-QAM	Pentabit	5	$N$	$5N$
64-QAM	Hexabit	6	$N$	$6N$
128-QAM	Septabit	7	$N$	$7N$
256-QAM	Octabit	8	$N$	$8N$



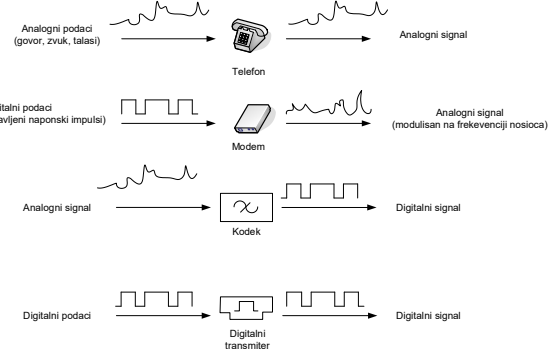
## GREŠKE KOD PRENOSA PODATAKA

- U toku prenosa podataka dolazi do pojave grešaka.
- Broj grešaka se izražava kao *bit error rate* (BER).
- Glavni uzrok pojave grešaka predstavlja šum



## ANALOGNI I DIGITALNI PRENOS PODATAKA

- Analogni i digitalni podaci se mogu predstaviti, a shodno tome i prenositi, analognim ili digitalnim signalima



## KOMBINACIJE PODACI-SIGNAL

	analogni signal	digitalni signal
analogni podaci	<p>postoje dve alternative:</p> <p>a) signali imaju identičan spektar kao i analogni podaci</p> <p>b) vrši se kodiranje analognih podataka, a signali pripadaju različitim delovima spektra</p>	<p>analogni podaci se kodiraju koristeći <i>codec</i> koji generiše digitalnu bit povorku</p>
digitalni podaci	<p>digitalni podaci se kodiraju uz pomoć sklopa <i>modem</i> koji na svom izlazu generiše analogni signal</p>	<p>postoje dve alternative:</p> <p>a) signal čine dva naponska nivoa pomoću kojih se predstavljaju dve binarne vrednosti</p> <p>b) vrši se kodiranje digitalnih podataka kako bi se generisao digitalni signal sa željenim osobinama</p>

## KOMBINACIJE PODACI-SIGNAL

	analogni signal	digitalni signal
analogni podaci	<p>prostiranje se vrši uz pomoć pojačavača; tretman je isti nezavisno od toga da li se signal koristi za predstavljanje analognih i digitalnih podataka</p>	<p>predpostavlja se da analogni signali predstavljaju digitalne podatke. Signal se prenosi preko repetitora. Od strane svakog repetitora, digitalni podaci se prihvataju, restauriraju, pojačavaju i predaju prema narednom repetitoru u lancu</p>
digitalni podaci	<p>ne koristi se</p>	<p>digitalni signal predstavlja niz 0 i 1, koji mogu predstavljati digitalne podatke. Signali se prenose preko repetitora: Kod svakog repetitora, niz 1 i 0 se prihvata, pojačava i predaje prema narednom repetitoru u lancu</p>

## DEFINICIJA NEKIH OSNOVNIH POJMOVA

- ❑ Pojam brzina signaliziranja (*data signaling rate* ili *data rate*) odgovara pojmu brzini signala i izražava se u jedinicama bitova-u-sekundi (*bps*) sa kojim se podaci prenose
- ❑ Modulaciona brzina (*modulation rate*) se izražava u *baud*-ima, a odgovara broju signalnih elemenata u sekundi.
- ❑ Tri ključna faktora koja određuju uspešnost prijemnika da interpretira dolazeći signal su:
  - ❖ odnos signal šum,
  - ❖ brzine sa kojom se prenose podaci (*data rate*),
  - ❖ propusni opseg.

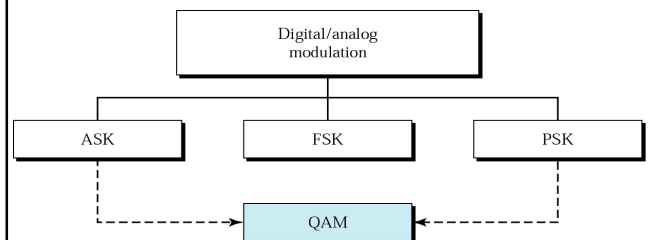
## Objašnjenje termina, jedinica i definicija

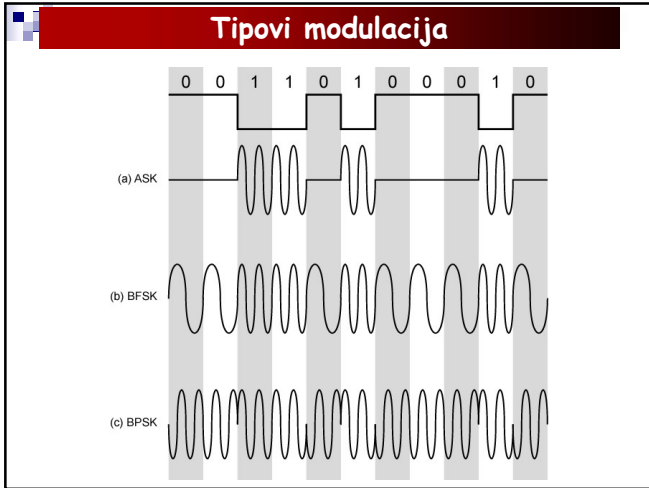
termin	jedinica	definicija
element podataka	bitovi	jedinstvena binarna 0 ili 1
brzina prenosa ( <i>date rate</i> )	bitovi-u-sekundi ( <i>bps</i> )	brzina kojom se elementi podataka prenose
signalni element	digitalni: naponski impuls konstante amplitude analogni: impuls konstantne frekvencije, faze i amplitude	deo signala koji zauzima najkraći interval kôda za signalizaciju
brzina signaliziranja ili modulaciona brzina	signalni elementi u sekundi ( <i>baud</i> )	brzina kojom se prenose signalni elementi

## DIGITALNI PODACI ANALOGNI SIGNALI

- ❑ Postupak modulacije podrazumeva promenu jedne od sledeće tri karakteristike nosećeg signala: amplitudu, frekvenciju, i fazu.
- ❑ Postoje sledeće tri osnovne modulacione tehnike za transformaciju digitalnih podataka u analogne
  - ❖ ASK – *Amplitude Shift Keying*
  - ❖ FSK – *Frequency Shift Keying*
  - ❖ PSK – *Phase Shift Keying*
- ❑ U sva tri slučaja opseg rezultantnog signala je centriran oko noseće učestanosti.

## ANALOGNE MODULACIONE TEHNIKE





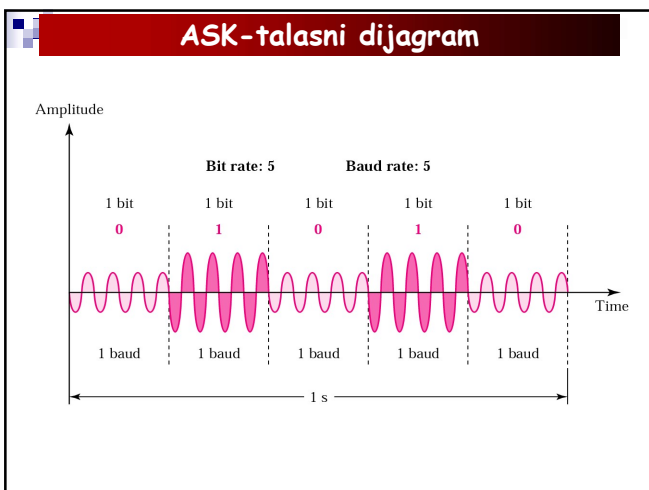
### ASK

- Kod *ASK*-a binarnim vrednostima 0 i 1 pridružuju se dve različite amplitude noseće frekvencije.
- Rezultantni signal koji odgovara jednom bitu je dat relacijom

$$ASK : s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{za binarnu 1} \\ 0 & \text{za binarnu 0} \end{cases}$$

gde je: -  $A \cos(2\pi f_c t)$  noseći signal.

- Kao tehnika, *ASK* je podložna uticaju naglih promena pojačanja i veoma je neefikasna.



### FSK

- Najpoznatija forma *FSK* je binarna *FSK*, nazvana *BFSK*.
- Kod *BFSK* dve binarne vrednosti se predstavljaju različitim frekvencijama koje su locirane blizu nosećoj.
- Rezultantni signal koji odgovara jednom bitu u datom trenutku dat je relacijom

$$FSK : s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) \\ A \cos(2\pi f_2 t) \end{cases}$$

Amplitude signala

Spektar signala koji se prenosi u jednom smeru

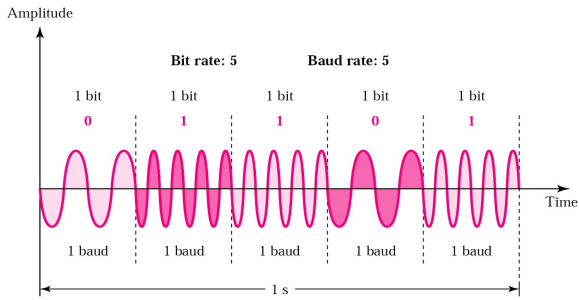
Spektar signala koji se prenosi u drugom smeru

1070   1270                      2025   2225

Frekvencija (Hz)

- *FSK* je manje podložan greškama u poredjenju sa *ASK*.

## FSK-talasni dijagram

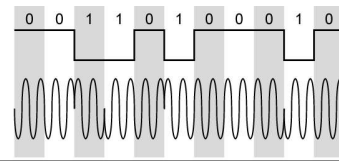


## PSK

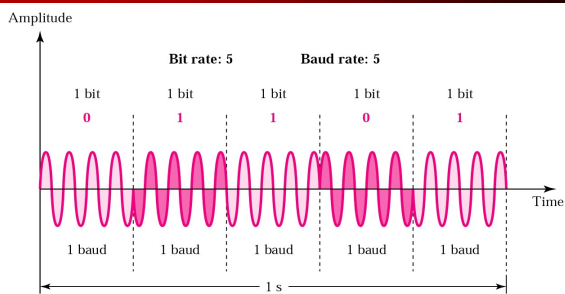
- Kod *PSK* promena faze nosećeg signala vrši se u skladu sa podacima.
- Najjednostavnija šema koja koristi dve faze radi prezentacije dve binarne cifre je *BPSK* (*binary PSK*).

$$BPSK: s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & ; \text{za binarnu } 1 \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & ; \text{za binarnu } 0 \end{cases}$$

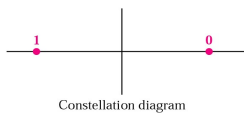
- Alternativna forma *BPSK*-u je *DPSK* (*differential PSK*)



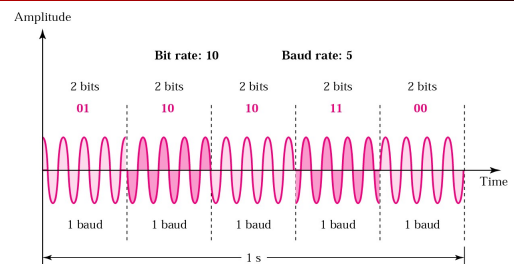
## PSK and PSK constellation



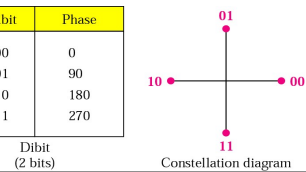
Bit	Phase
0	0
1	180



## The 4-PSK method and the 4-PSK characteristics



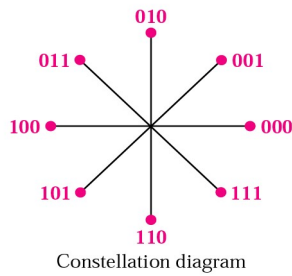
Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270



## The 8-PSK characteristics

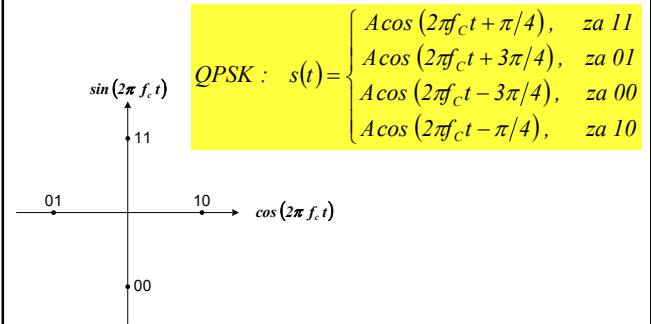
Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits  
(3 bits)



## QPSK

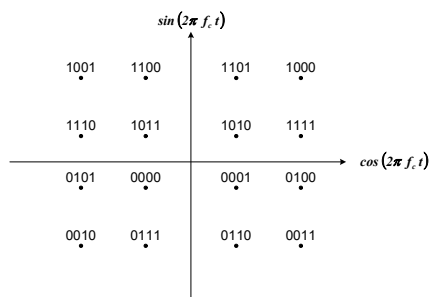
- Efikasnije iskorišćenje propusnog opsega se postiže ako se svaki signalni element predstavi sa više od jednim bitom.
- Jedna tipična takva tehnika je kvadraturna PSK poznata kao QPSK koja koristi multiple faznih pomeraja od  $\pi/2$



## Kvadraturna amplitudna modulacija - QAM

□ Kvadraturna amplitudna modulacija (*quadrature amplitude modulation-QAM*) je modulaciona tehnika koja predstavlja kombinaciju ASK i PSK, a može se posmatrati kao logičko proširenje QPSK

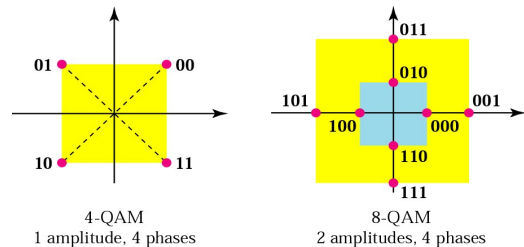
Signal-constellation za 16-QAM



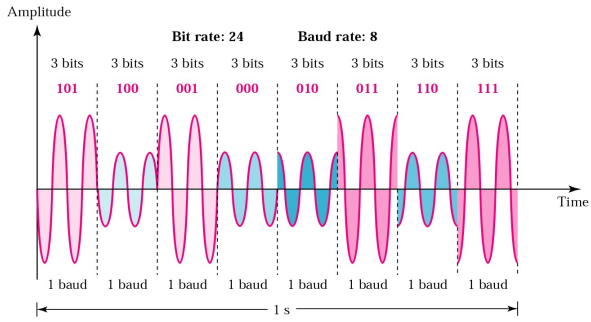
## The 4-QAM and 8-QAM constellations



Quadrature amplitude modulation is a combination of ASK and PSK so that a maximum contrast between each signal unit (bit, dibit, tribit, and so on) is achieved.



## Time domain for an 8-QAM signal



## 16-QAM constellations

