



Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)

Saradnik: Dr Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

SADRŽAJ KURSA

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
- 4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala**
5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija
6. Medijumi za prenos
7. Pravila strukturnog kabliranja
8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda
12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

Termin 4 - Sadržaj

- **Osnovni parametri digitalnih signala**
- Analogno/digitalna konverzija
- Kodiranje digitalnih signala
- M-arni digitalni signal
- Uticaj šuma na prenos digitalnih signala

Digitalni komunikacioni sistemi

- Istorijski gledano prvo su nastali analogni signali. Danas vladaju tri osnovna trenda:
 1. Digitalizacija
 2. Globalizacija
 3. Personalizacija
- Ideja je da se u bilo kom trenutku i sa bilo kog mjesta obavi komunikacija (prenos govora, slike, podataka). Ideja digitalizacije počinje 40-tih godina prošlog vijeka, da bi se snažna osnova za realizaciju takvih sistema dobila 60-tih godina, i intenzivan razvoj počeo 80-ih godina.
- I digitalni signali se, kao i analogni, mogu prenositi:
 1. U osnovnom opsegu
 2. Modulisanim nosiocem

Obrada signala

Vrsta poruke	Originalni signal	Vrsta prenosa	Postupak obrade
Kontinualna	Analogni	Analogni	Bez obrade (u osnovnom opsegu)
			Modulacija
Digitalna	Digitalni	Digitalni	Kodiranje (analogno/digitalna konverzija)
		Analogni	Modulacija
Digitalna	Digitalni	Digitalni	Kodiranje u osnovnom opsegu
		Analogni	Modulacija

Osnovni parametri digitalnih signala

- **Elementi signala:** svaki od dijelova digitalnog signala se razlikuje od ostalih njegovih dijelova po svojoj prirodi, intenzitetu, trajanju i relativnom položaju ili samo po jednom od ovih parametara.
- Svakom elementu signala odgovara **značajno stanje uređaja** koji je proizveo taj element signala, pa se često umjesto termina "element signala" koristi termin **značajno stanje signala**. Pri tome se trenuci u kojima počinju sukcesivna značajna stanja nazivaju **značajnim trenucima**, dok se vrijeme između dva susjedna značajna trenutka naziva **značajnim** ili **signalizacionim intervalom**.

Osnovni parametri digitalnih signala

- Najjednostavniji način za predstavljanje digitalnih signala je njihova ekvivalencija električnom veličinom, strujom ili naponom. Intenzitetu struje (napona) se daju različite vrijednosti.
- Ako se te različite vrijednosti značajnog parametra numerišu u okviru jednog konačnog skupa, oni se mogu predstaviti digitalnim signalom. U opštem slučaju broj tih elemenata skupa (broj mogućih vrijednosti značajnog parametra) je M , pa se takav digitalni signal zove višenivovski ili **M -arni digitalni signal**.
- Najjednostavniji način je da se članovi skupa numerišu brojkama binarnog brojnog sistema. Za ovakav sistem potrebne su svega dvije vrijednosti značajnog parametra signala, tj. dvije različite vrijednosti intenziteta konstantnog napona odnosno struje. Stoga ovaj oblik digitalnog signala, **binarni signal** ($M=2$) predstavlja elementarni oblik digitalnog signala.

Termin 4 - Sadržaj

- Osnovni parametri digitalnih signala
- **Analogno/digitalna konverzija**
- Kodiranje digitalnih signala
- M-arni digitalni signal
- Uticaj šuma na prenos digitalnih signala

Diskretizacija kontinualnih signala

- Poruke i signali u koje se one transformišu uslovno se dijele na dvije grupe:
 - kontinualne i
 - diskretne.
- Shodno ovoj podjeli postoje i dvije vrste prenosa:
 - analogni i
 - digitalni prenos.
- Harmonijskom analizom funkcija koje predstavljaju kontinualne signale može se pokazati da ih je moguće diskretizovati, a da se pri tome ne promijene osobine koje imaju kao nosioci poruka.
 - Drugim riječima, to znači da postoji principijelna mogućnost da se kontinualne poruke prenose u vidu diskretnih signala

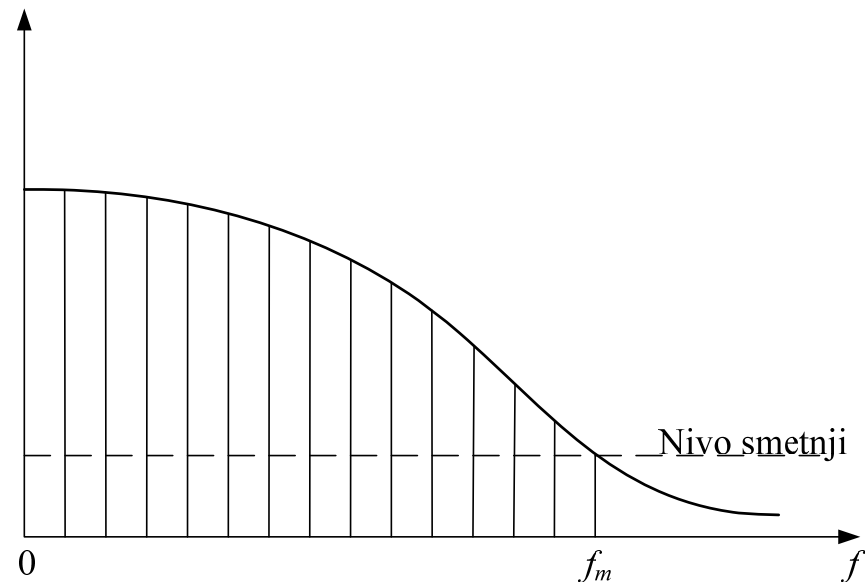
Diskretizacija kontinualnih signala

- Sve realne kontinualne poruke predstavljaju slučajne procese. Takvi su i odgovarajući signali.
- Kada se sprovede statistička analiza ovakvih signala, dolazi se do zaključka da je osnovni i glavni dio njihovog spektra koncentrisan u nekom konačnom opsegu učestanosti.
- To praktično znači da iznad neke učestanosti f_m , spektralna gustina amplituda ovakvih signala postaje toliko mala da može da bude maskirana uvijek prisutnim bijelim Gausovom šumom. Taj dio spektra nema smisla prenositi.

Govor $f_m=3.4\text{kHz}$

Video $f_m=5\text{MHz}$

Muzika $f_m=15\text{kHz}$



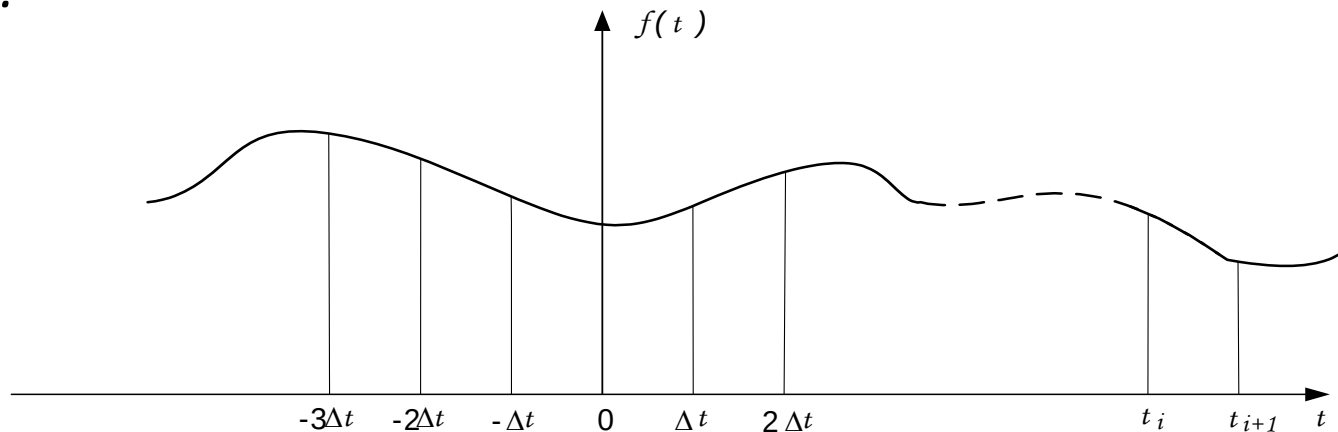
Diskretizacija kontinualnih signala

- Ovakva konstatacija omogućava da sve kontinualne poruke predstavimo kontinualnim signalima, čiji je spektar strogo ograničen nekom učestanošću f_m .
- Za ovakve signale, u matematici postoji teorema koja specificira uslove pri kojima je moguće svaki takav signal predstaviti njegovim vrijednostima uzetim u diskretnim trenucima vremena. To je **Kotelnikova teorema** ili **teorema o odabiranju**. Zahvaljujući ovoj teoremi može da se napravi prvi korak u diskretizovanju kontinualne funkcije, a to je **diskretizacija po vremenu**.
- Međutim, poruke se međusobno razlikuju, pa su različiti i signali kojima se one prenose. Kad je riječ o skupu odabranih vrijednosti signala, sve odabrane vrijednosti gledane zajedno, kontinualno se mijenjaju u određenim granicama.
- Zato je potrebno obaviti još jednu diskretizaciju – **diskretizaciju po trenutnim vrijednostima vremenske funkcije**. Ona se još naziva i diskretizacijom po nivou ili **kvantizacijom**. Slično ovome, diskretizacija po vremenu se naziva i kvantizacijom po vremenu.
- Znači, da bi se kontinualni signali diskretizovali, potrebno je obaviti **diskretizaciju po vremenu** i **diskretizaciju po trenutnim vrijednostima signala**.

Diskretizacija po vremenu

TEOREMA O ODABIRANJU

- Ako kontinualni signal $f(t)$ ima spektar koji se nalazi u opsegu učestanosti od 0 do f_m , onda je taj signal u potpunosti definisan svojim trenutnim vrijednostima, uzetim u ekvidistantnim tačkama međusobnog rastojanja $\Delta t = t_{i+1} - t_i = (1/2f_m)$.
- Učestanost odabiranja f_0 mora da zadovoljava uslov $f_0 \geq 2f_m$
- Za proizvoljni signal $f(t)$, ovaj skup odabranih vrijednosti je ilustrovan na slici.



Diskretizacija po vremenu

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f\left(\frac{n}{2f_m}\right) \frac{\sin 2\pi f_m \left(t - \frac{n}{2f_m}\right)}{2\pi f_m \left(t - \frac{n}{2f_m}\right)}$$

- Dakle, diskretizacija po vremenu nam omogućava da kontinualnu funkciju prikažemo kao niz odbiraka. Na taj način se kontinualna poruka ekvivalentira diskretnim signalom.
- Korisniku treba poruka u originalnom obliku, kakva je i poslata. Da bi se to postiglo, **treba propustiti diskretizovani signal kroz filter propusnik niskih učestanosti granične učestanosti $f_c=f_m$.**

Diskretizacija po trenutnim vrijednostima

- Signal $u(t)$, koji predstavlja kontinualnu poruku, može da ima bilo koju vrijednost između U_{min} i U_{max} i spektar mu se nalazi u intervalu učestanosti od 0 do f_m . Sve realne poruke praktično zadovoljavaju ovaj uslov. Ako primijenimo teoremu o odabiranju, signal $u(t)$ možemo predstaviti skupom diskretnih vrijednosti uzetih u trenucima odabiranja.
- Kako svaki odbirak može imati bilo koju vrijednost između U_{min} i U_{max} , to je jasno da bi za predstavljanje skupa poruka ovakvog izvora bio potreban alfabet koji bi imao beskonačno mnogo simbola.
- Zato je neophodno obaviti diskretizaciju po trenutnoj vrijednosti signala.

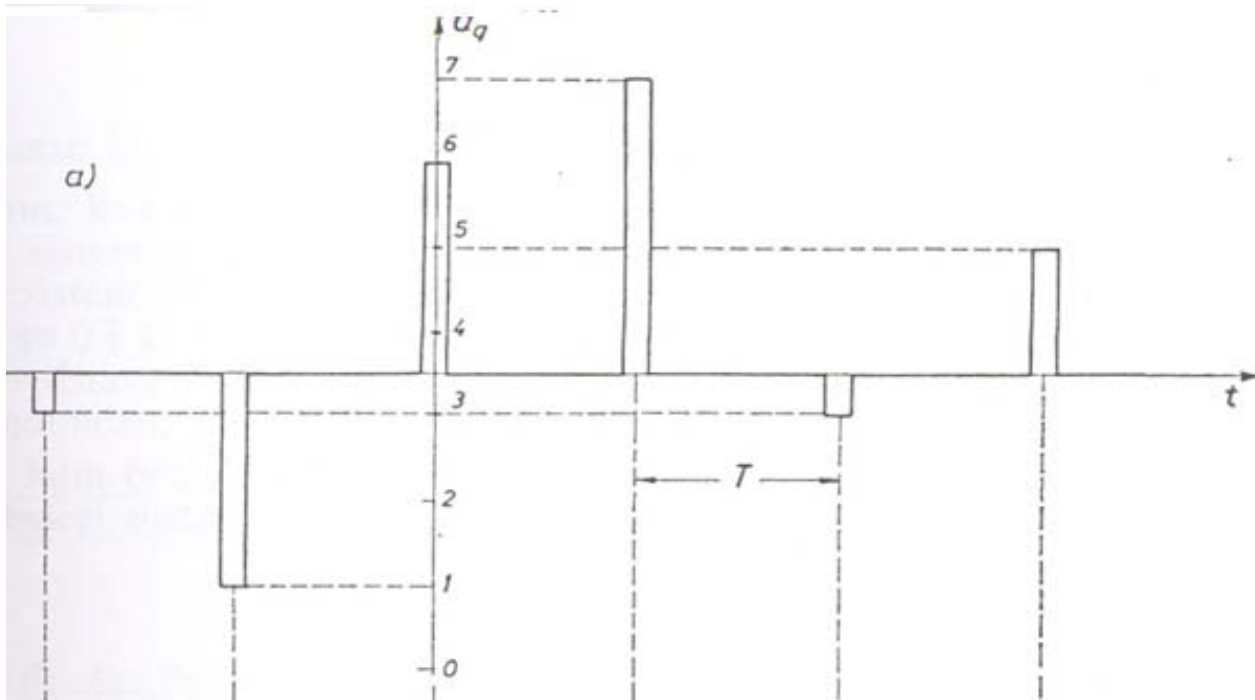
The graph shows the voltage $u(t)$ (solid line) and its Fourier series approximation $u_q(t)$ (dashed line) and $u_N(t)$ (solid line). The vertical axis is labeled $u(t)$ and the horizontal axis is labeled t . The vertical axis has markings for $\frac{1}{2}U$, $\frac{1}{2}U_q$, U , U_q , 0 , and $-\frac{1}{2}U$. The horizontal axis has markings for $T = \frac{1}{2f_m}$ and Δu . The Fourier series approximation $u_q(t)$ is shown as a dashed line, and the approximation $u_N(t)$ is shown as a solid line. The error Δu is indicated as the difference between $u(t)$ and $u_q(t)$.

Originalan signal $u(t)$ koji se prenosi; $u_q(t)$ predstavlja primljeni signal na bazi kvantiziranih odbiraka signala $u(t)$; $u_N(t)$ predstavlja grešku kvantizacije

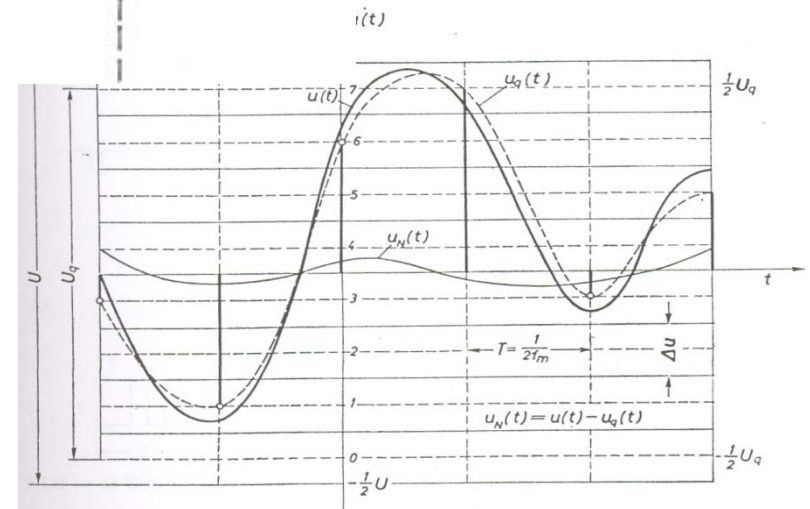
- Neka je $u(t)$ signal poruke maksimalne učestanosti u spektru f_m . Umjesto da prenosimo ovaj signal, možemo da prenosimo njegove odbirke koji predstavljaju vrijednosti signala $u(t)$ u trenucima odabiranja $t=nT=n/2f_m$, gdje je $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Izvršimo kvantizaciju odbiraka signala $u(t)$ prije nego što ih prenesemo.
- Neka je signal $u(t)$ takav da se sve njegove pozitivne i negativne vrijednosti nalaze u intervalu $[-U/2, U/2]$. Neka se "zaokruživanje" vrijednosti amplituda odbiraka vrši tako da dozvoljena greška ne bude veća od $\pm \frac{1}{2} \Delta u$. To znači da ćemo interval U podijeliti na q podintervala, tako da je: $U = q \Delta u$
- Veličina Δu naziva se **korak kvantizacije**. Moguće vrijednosti amplituda odbiraka su:

$$\pm \frac{1}{2} \Delta u, \pm \frac{3}{2} \Delta u, \pm \frac{5}{2} \Delta u, \dots, \pm \frac{q-1}{2} \Delta u,$$

Diskretizacija po trenutnim vrijednostima



Kvantizirani odbirci signala $u(t)$

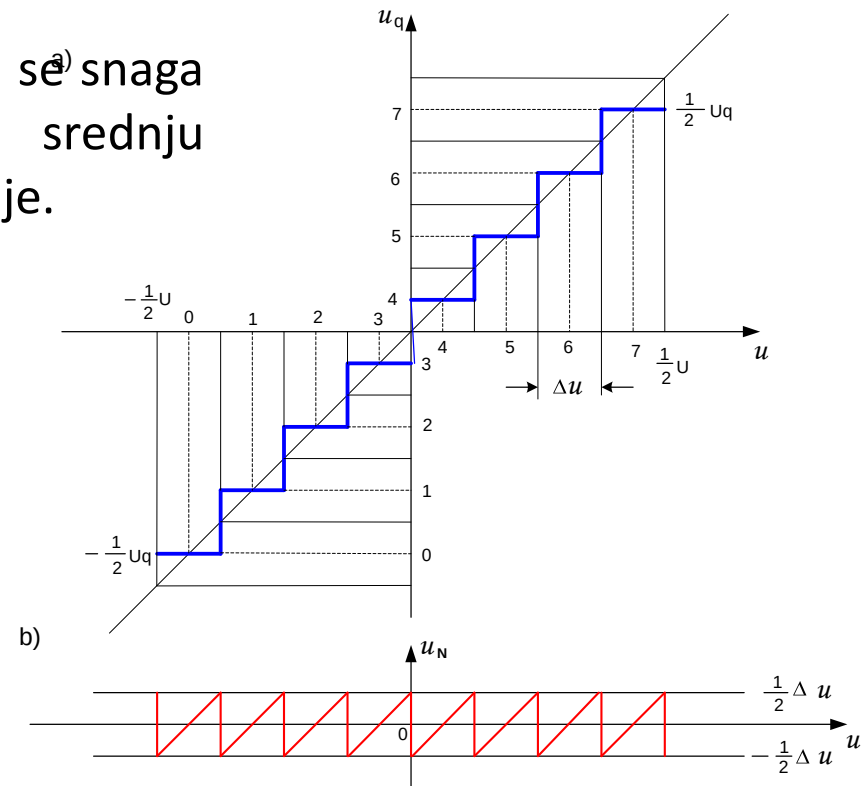


Diskretizacija po trenutnim vrijednostima

- Sa slike se uočava da amplituda svakog od odbiraka ima jednu određenu vrijednost iz skupa mogućih vrijednosti. Pošto je taj skup konačan, znači da se mogu numerisati te moguće vrijednosti. U prethodnom primjeru ih ima 8, pa ćemo početnu vrijednost obilježiti sa 0, drugu sa 1, i tako redom do 7.
- Za procjenu greške kvantizacije koristi se ^{a)} snaga šuma kvantizacije koja predstavlja srednju kvadratnu vrijednost greške kvantizacije.

a) Karakteristika kvantizatora;

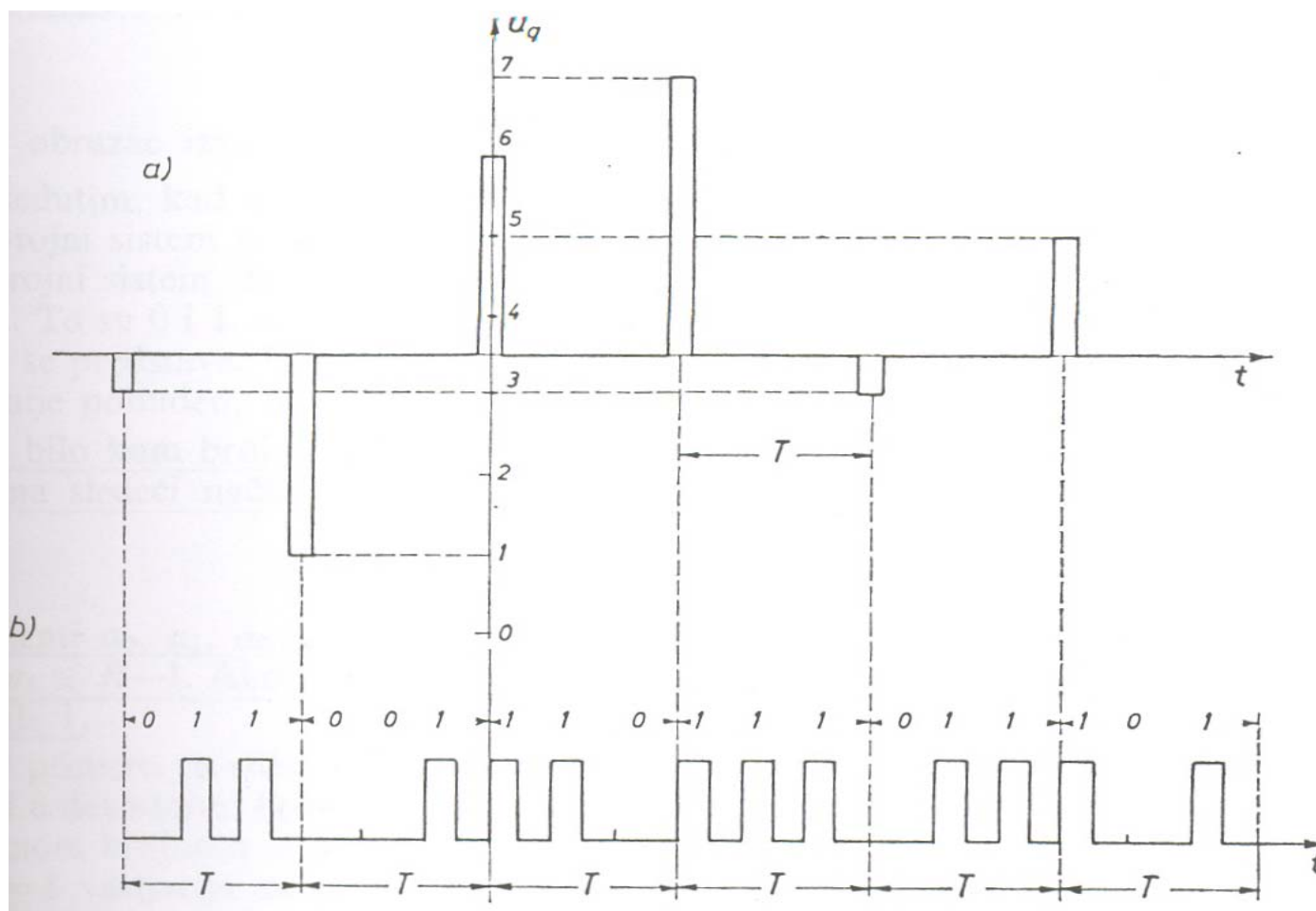
b) karakteristika greške kvantizacije



Impulsno kodna modulacija (IKM)

- Prva ideja o prenosu signala impulsno kodnom modulacijom patentirana je 1938. god.
 - Princip na kome počiva postupak IKM zasniva se na diskretizaciji kontinualnih poruka, odnosno njima odgovarajućih signala. **U osnovi IKM-a su teorema o odabiranju i kvantizacija.**
 - Postupkom kvantizacije se već na samom početku pravi izvjesna greška. Veličina te greške zavisi od broja kvantizacionih nivoa, odnosno od “finoće zaokruživanja”.
- Osim oznake IKM mnogo češće se koristi oznaka **PCM** (*Pulse Code Modulation*)

Impulsno kodna modulacija (IKM)



a) Kvantizirani odbirci signala $u(t)$; b) odgovarajući IKM signal

Impulsno kodna modulacija (IKM)

- U našem primjeru smo imali $q=8$ kvantizacionih nivoa, koje smo numerisali u dekadnom brojnom sistemu ciframa 0, 1, ...7. Ako ih numerišemo u binarnom brojnom sistemu potrebno je da obrazujemo $q = 8$ varijacija sa ponavljanjem n -te klase. Ovo znači da će u svakoj takvoj varijaciji biti n – simbola. Broj varijacija sa ponavljanjem n -te klase od 2 različita simbola, računa se na osnovu obrasca:

$$q = 2^n$$

pa za $q = 8$, n iznosi 3. Na osnovu koda između decimalnog i binarnog sistema imaćemo da je

$$0 = 0(2^2) + 0(2^1) + 0(2^0) = 000$$

$$1 = 0(2^2) + 0(2^1) + 1(2^0) = 001$$

$$2 = 0(2^2) + 1(2^1) + 0(2^0) = 010$$

$$3 = 0(2^2) + 1(2^1) + 1(2^0) = 011$$

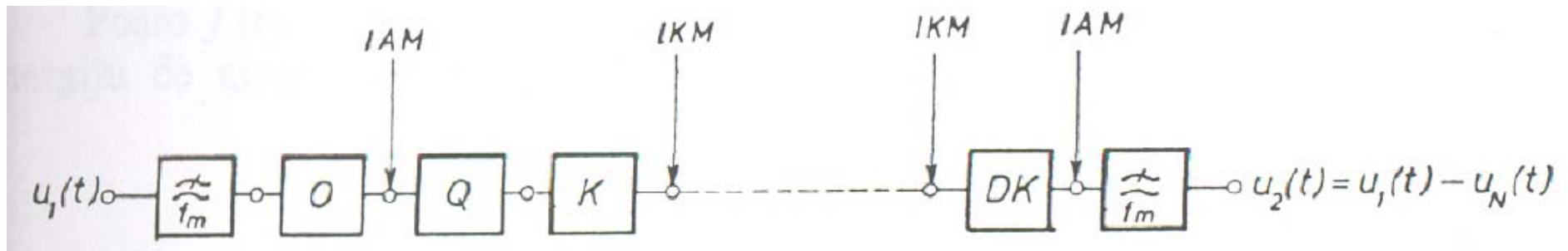
$$4 = 1(2^2) + 0(2^1) + 0(2^0) = 100$$

$$5 = 1(2^2) + 0(2^1) + 1(2^0) = 101$$

$$6 = 1(2^2) + 1(2^1) + 0(2^0) = 110$$

$$7 = 1(2^2) + 1(2^1) + 1(2^0) = 111$$

Impulsno kodna modulacija (IKM)



- IKM modulacija omogućava da se od analognog signala dobije digitalni.
- U predajniku se obavlja analogno-digitalna konverzija, a na strani prijema se obavlja digitalno-analoga konverzija.
 - U tu svrhu se koristi **dekoder (DK)** koji IKM signal pretvara u kvantizirane odbirke signala.
 - Dekoder mora biti komplementaran sa koderom da bi kombinaciju nula i jedinica pretvorio u odgovarajući odbirak.
 - Na kraju se nalazi NF filter koji vrši rekonstrukciju signala na bazi kvantiziranih odbiraka. Dobijeni signal na izlazu će se razlikovati od originalne poruke za grešku kvantizacije $u_N(t)$.

Termin 4 - Sadržaj

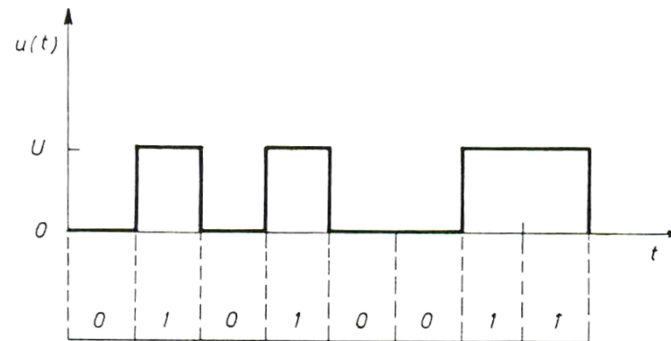
- Osnovni parametri digitalnih signala
- Analogno/digitalna konverzija
- **Kodiranje digitalnih signala**
- M-arni digitalni signal
- Uticaj šuma na prenos digitalnih signala

Kodiranje

- U postupku obrade signala, razlikuju se dva tipa kodiranja:
 - kodiranje digitalnih signala u osnovnom opsegu učestanosti i
 - kodiranje analognih signala, odnosno analogno/digitalna konverzija (A/D).
- Pri tome se mogu identifikovati različiti aspekti uticaja kodiranja na ponašanje signala.
 - Oblik spektra signala,
 - Sinhronizacija,
 - Otkrivanje grešaka,
 - Otpornost na uticaj šuma,
 - Složenost i ekonomičnost.

Oblici binarnih signala

- Postoji nekoliko različitih oblika u kojima se javljaju binarni signali. Zajednička osobina svima njima je da značajni parametar signala može da ima dvije moguće vrijednosti.
- UNIPOLARNI BINARNI SIGNAL BEZ POVRATKA NA NULU– NRZ (Non Return to Zero)
 - Ima dvije moguće vrijednosti značajnog parametra: 0 i neka vrijednost različita od nule. Skup mogućih vrijednosti je 2, pa se elementi numerišu

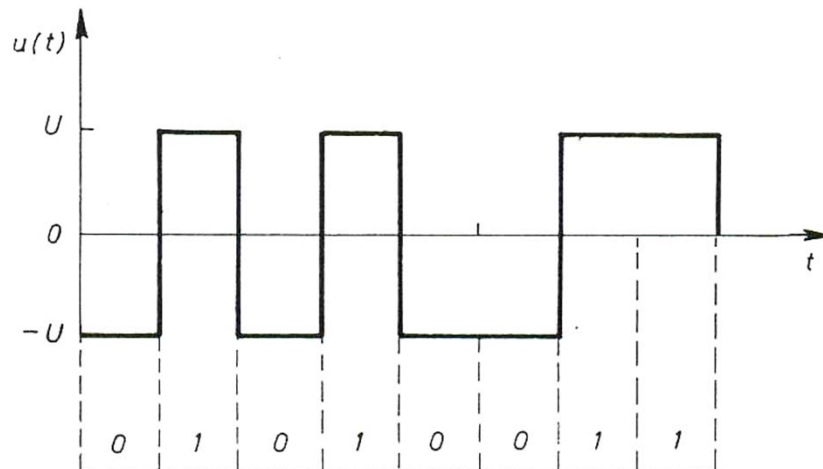


- Ovim signalom se prenosi i jednosmjerna komponenta, a ukoliko je vjerovatnoća pojavljivanja "1" jednaka vjerovatnoći pojavljivanja "0", tj. $P(0)=P(1)=0.5$, srednja vrijednost takvog signala je $U/2$.

Oblici binarnih signala

- POLARNI BINARNI SIGNAL

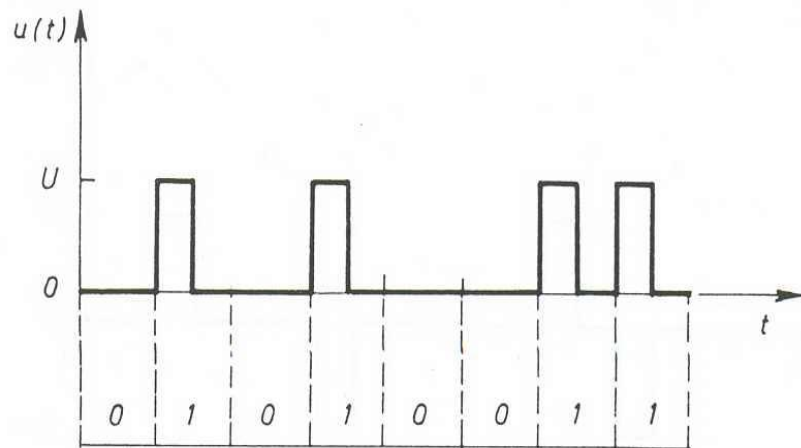
- Za razliku od unipolarnog binarnog signala kod koga su dvije moguće vrijednosti značajnog parametra signala bile 0 i U , u ovom slučaju su $+U$ i $-U$. Ovaj signal je prikazan na slici.



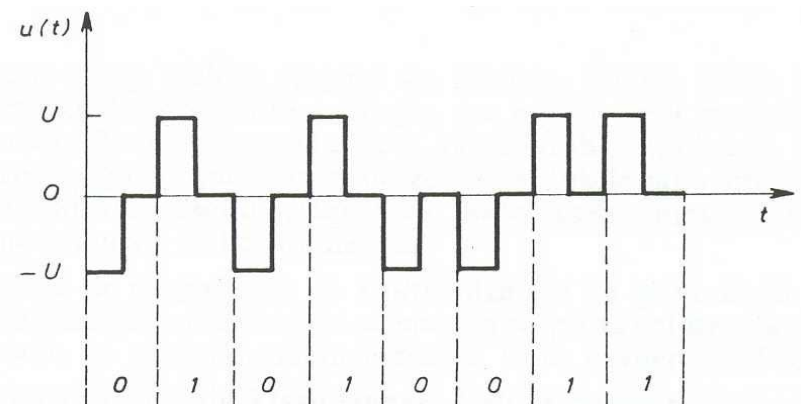
- Ako se oba parametra javljaju sa istom vjerovatnoćom ($P(0)=P(1)=1/2$) srednja vrijednost signala je jednaka nuli.

Oblici binarnih signala

- BINARNI SIGNAL SA POVRATKOM NA NULU - RZ (*Return to Zero*)
 - Može da se realizuje kao unipolarni ili polarni, s razlikom što stanje koje odgovara binarnoj "1" ne traje čitavo vrijeme T , već samo polovinu tog vremena, a drugu polovinu ima vrijednost nula. Primjer unipolarnog i polarnog signala sa povratkom na nulu je prikazan na slici.



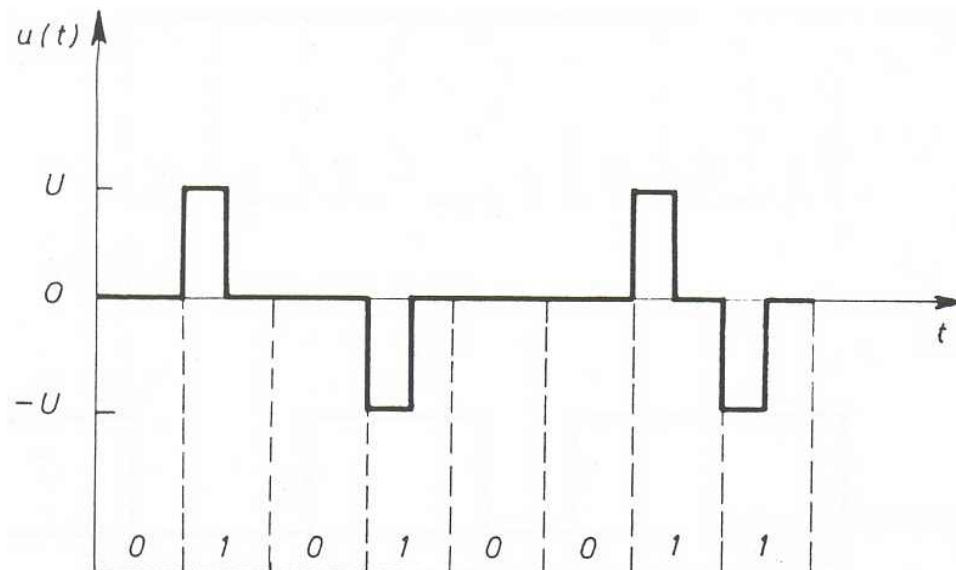
Unipolarni signal sa povratkom na nulu



Polarni signal sa povratkom na nulu

Oblici binarnih signala

- BIPOLARNI AMI (*Alternate Mark Inversion*)
 - Dobija se od unipolarnog (RZ ili NRZ) tako što se svakoj drugoj jedinici promijeni polaritet. Značajni parametar ima tri vrijednosti (+U, -U i 0). Ovakav signal nema jednosmjernu komponentu.
 - Na slici je prikazan bipolarni AMI signal sa povratkom na nulu.



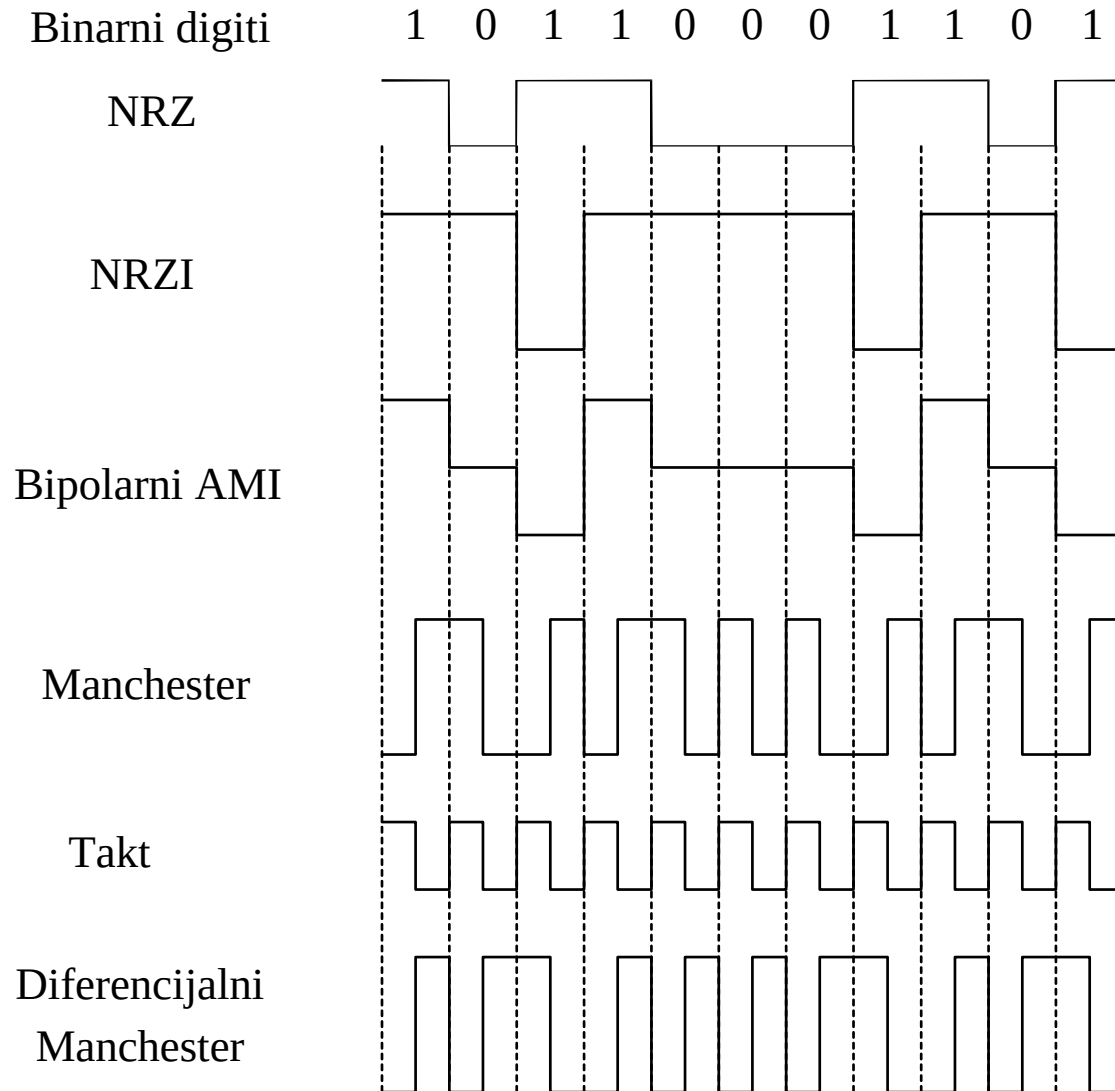
Bipolarni AMI sa povratkom na nulu

Oblici binarnih signala

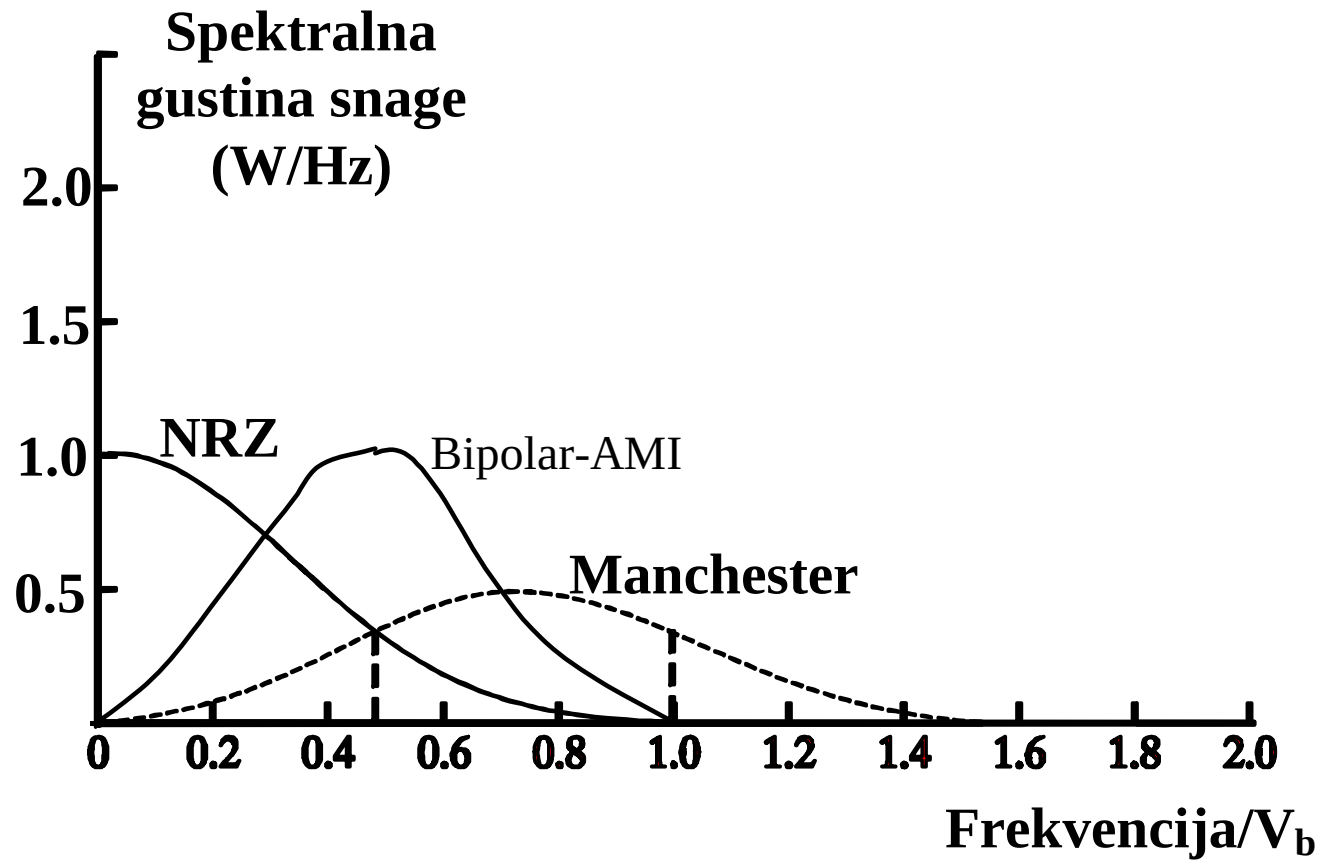
- MANCHESTER KOD

- Još jedan kod tipičan za digitalne signale je Manchester kod koji se ostvaruje tako što se svaka "1" u originalnom signalu predstavlja pozitivnom tranzicijom na sredini signalizacionog intervala u kodiranom signalu, dok se svaka "0" u originalnom signalu predstavlja negativnom tranzicijom na sredini signalizacionog intervala.
- Tamo gdje se javljaju dva ista binarna elementa jedan do drugog (kombinacija 00 ili 11) u kodiranom signalu se dodaje nova tranzicija na granici ta dva značajna intervala (ona ne nosi nikakvu informaciju).

Kodiranje

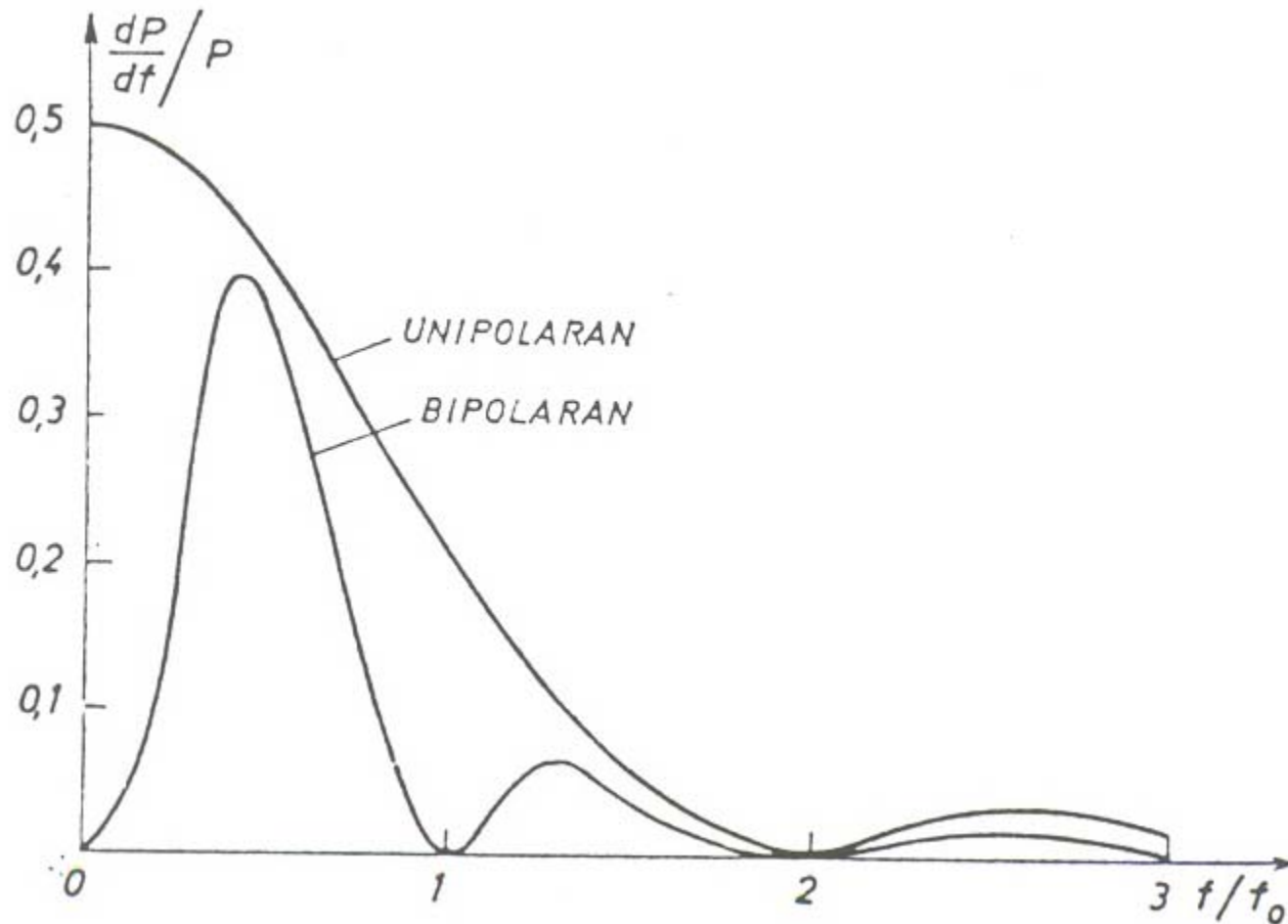


Kodiranje



Spektralna gustina amplituda za različite postupke kodiranja

Kodiranje



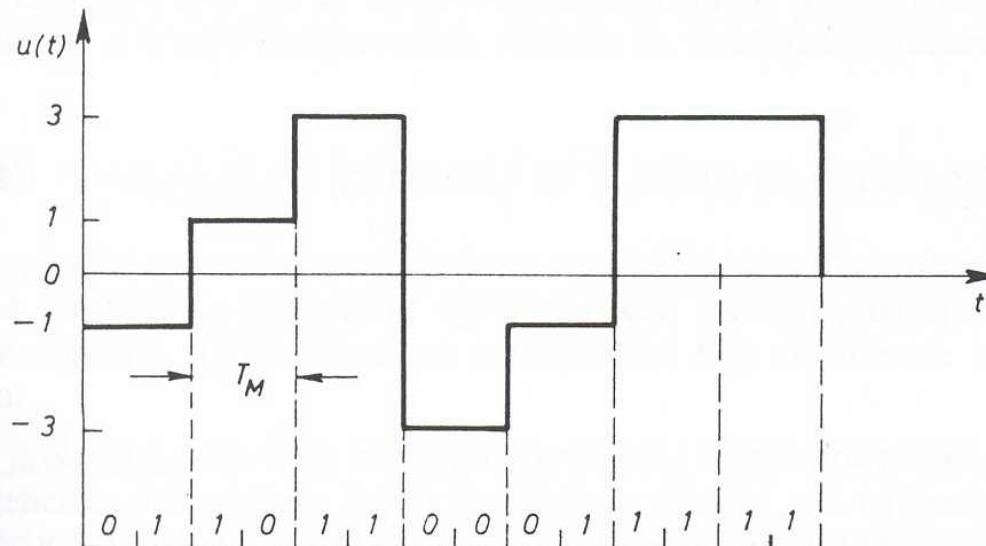
Spektralna gustina amplituda za unipolarne i polarne binarne signale

Termin 4 - Sadržaj

- Osnovni parametri digitalnih signala
- Analogno/digitalna konverzija
- Kodiranje digitalnih signala
- **M-arni digitalni signal**
- Uticaj šuma na prenos digitalnih signala

M -arni digitalni signali

- Za razliku od binarnih signala koji u svakom značajnom intervalu mogu da imaju jednu od dvije moguće vrijednosti značajnog parametra, značajni parametar M -arnog signala može da ima jednu od M mogućih vrijednosti koje odgovaraju određenim naponskim stanjima.
- Na primjer, ako bi se usvojio sistem u kome je $M=4$, dakle kvaternarni brojni sistem, digitalni signal bi imao 4 različite vrijednosti značajnog parametra. Takav signal prikazan je na slici.



M-arni digitalni signali

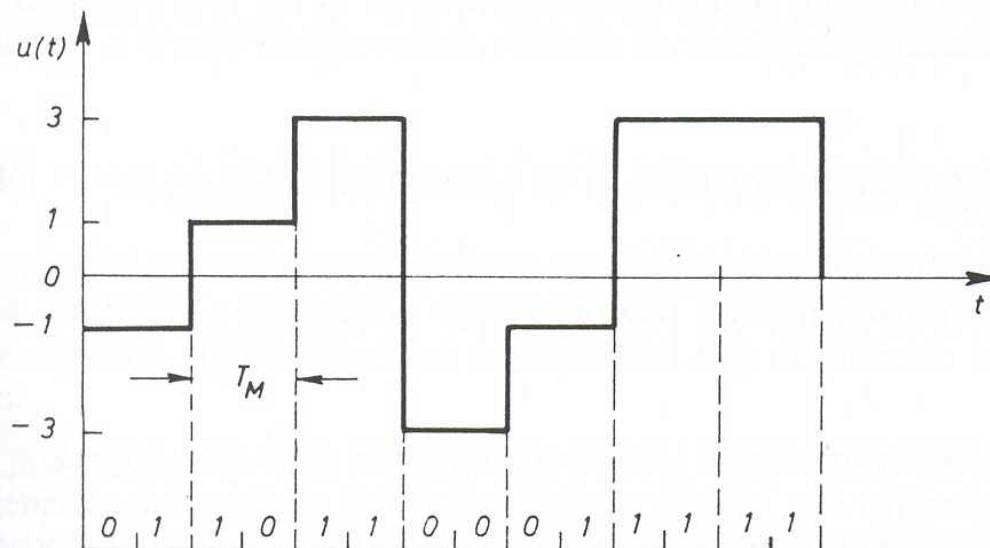
- Digitalni signal sa $M=4$ stanja karakterišu 4 različite vrijednosti napona obilježene sa -3, -1, 1 i 3. Ove vrijednosti se mogu ekvivalentirati odgovarajućim binarnim signalima. Pošto je riječ o 4 različita stanja koja treba predstaviti u binarnom brojnom sistemu, svako stanje se predstavlja kombinacijom od 2 binarna elementa, po šemi:

-3 $\rightarrow$ 00

-1 $\rightarrow$ 01

1 $\rightarrow$ 10

3 $\rightarrow$ 11



M -arni digitalni signali

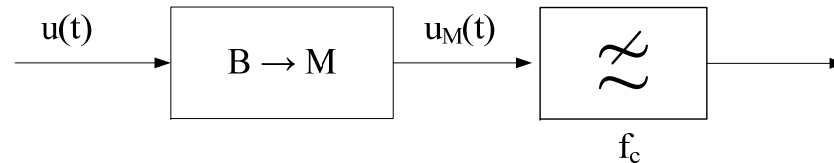
- U slučaju M -arnih signala, u okviru intervala koji odgovara jednom značajnom stanju signala smješta se n binarnih elemenata:

$$n = \log_2 M$$

- Pošto je uobičajeno da se M -arni signal ekvivalentira binarnim, definišemo parametar koji karakteriše digitalne signale, a to je **digitalni protok** - broj digita koji se prenose u jedinici vremena, $V_D = 1/T_M$. Jedinica je **digita/s** ili **baud**.
- U slučaju M -arnih signala definišemo M -arni digitalni protok koji se izražava brojem M -arnih digita u sekundi. Pored M -arnog digitalnog protoka, za svaki M -arni signal može da se definiše ekvivalentni binarni signal, pa time i **ekvivalentni binarni protok**.

M -arni digitalni signali - primjer

- Binarni digitalni signal $u(t)$ protoka $V_b=9600$ b/s dovodi se na sistem prikazan na slici:



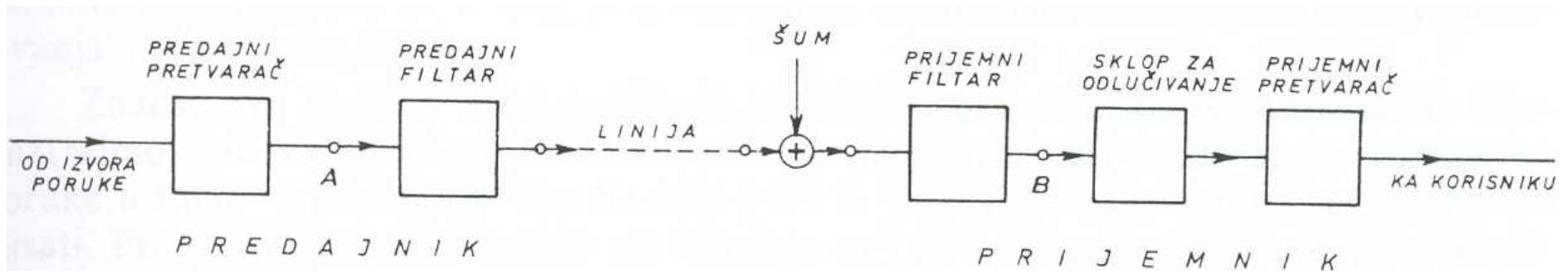
NF filter je idealan filter koji omogućava prenos bez intersimbolske interferencije. Ako je $M=8$, izračunati potrebnu širinu opsega sistema za prenos.

Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu

- Digitalni signal, kakav se pojavljuje na izlazu pretvarača poruke u signal (električni ekvivalent) je u svom osnovnom ili prirodnom opsegu učestanosti. On se može prenositi direktno na udaljeno mjesto prenosnim putevima. Takav prenos se naziva ***prenosom u osnovnom opsegu učestanosti***.
- Kod ove vrste prenosa osnovni signali ne podliježu nikakvoj dodatnoj obradi, u kojoj bi se njihov spektar iz svog osnovnog, prirodnog položaja, translirao u neki drugi položaj podesniji za prenos. Sistemi za prenos signala u osnovnom opsegu u pogledu složenosti su najjednostavniji.

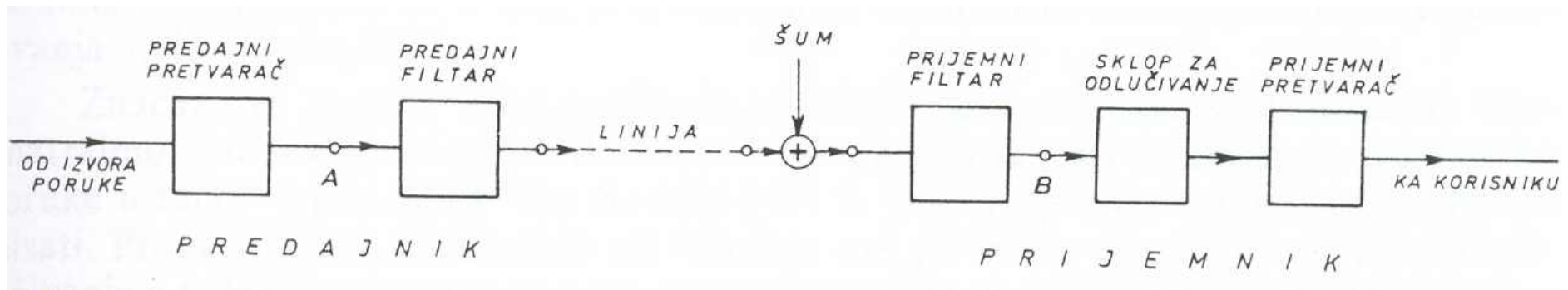
Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu

- U računarskim komunikacijama, signali se prenose u osnovnom opsegu u lokalnim računarskim mrežama, realizovanim primjenom kablova sa upredenim bakarnim paricama.
- Blok šema sistema za prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu je sledeća:



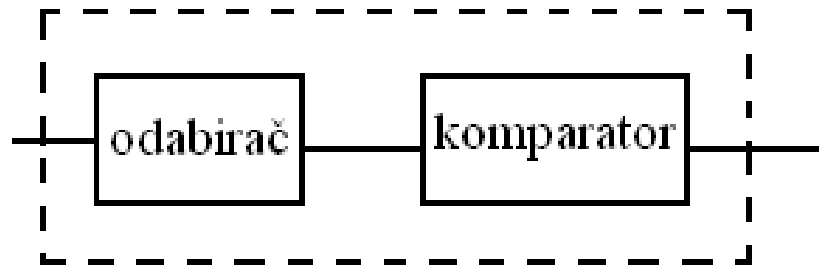
- Poruka se u predajnom pretvaraču pretvara u digitalni signal.
- Predajnim filtrom propusnikom niskih učestanosti ograničava se spektar signala koji izlazi na liniju veze.
 - Na taj način štite se ostali sistemi prenosa od eventualnog uticaja komponenata visokih učestanosti u spektru prenošenog digitalnog signala.

Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu



- Prijemnim filtrom, takođe propusnikom niskih učestanosti, sprečava se ulaz štetnih komponenti visokih učestanosti, bilo da je njihovo porijeklo od nekih drugih sistema, bilo da potiču od šuma sa linije veze.
- Sklop za odlučivanje se sastoji iz dva dijela:
 1. **Odabirač**, kojim se uzimaju odbirci primljenog signala u precizno određenim vremenskim intervalima (koji se poklapaju sa signalizacionim intervalima).
 2. **Komparator**, u kome se uzeti odbirci upoređuju sa nekom referentnom vrijednošću koja se naziva prag odlučivanja.

Prens digitalnih signala u osnovnom opsegu



Sklop za odlučivanje

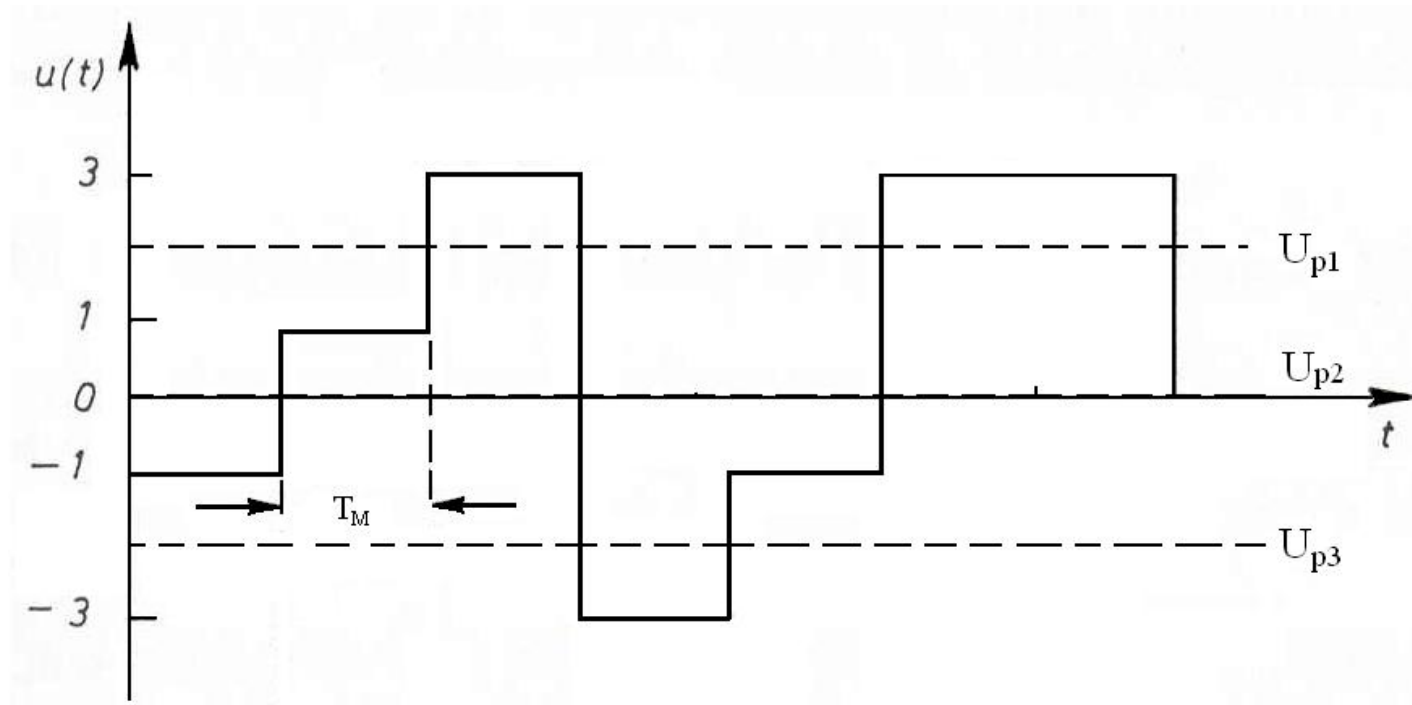
- Ukomparatoru se na osnovu odluke generiše novi digitalni signal koji je, ako nema greške, identičan onom koji je poslat. Taj dio transmisionog procesa naziva se **regeneracijom**.
- Prijemnim pretvaračem ovaj signal pretvara se u poruku namijenjenu korisniku.

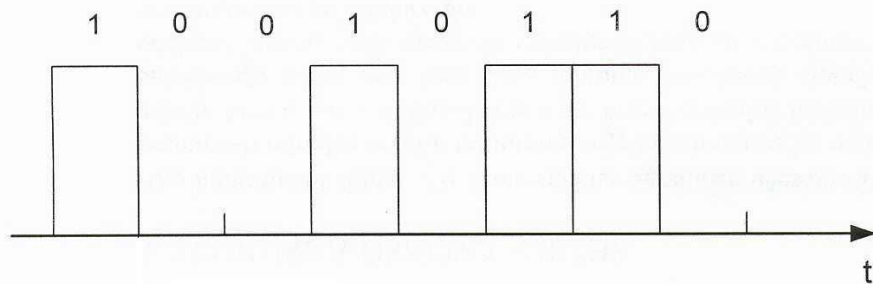
Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu

- Kada digitalni signal dođe na sklop za odlučivanje uzimaju se odbirci koji se upoređuju sa pragom.
 - Ako su u pitanju dvije moguće vrijednosti signala, koje su jednako vjerovatne, prag se postavlja na sredini te dvije vrijednosti (u slučaju polarnog binarnog signala čije su moguće vrijednosti značajnog parametra $+U$ i $-U$ prag se postavlja na 0).
 - Sve vrijednosti odbiraka koje su iznad praga se tretiraju kao stanje "1", a koje su ispod vrijednosti praga tretiraju se kao "0".

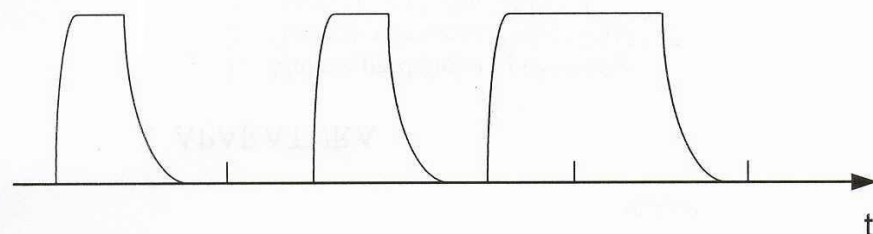
Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu

- U slučaju kvaternarnog signala postoje 4 moguće vrijednosti značajnog parametra, pa komparator funkcionije tako što postavlja 3 praga (u opštem slučaju M -arnog signala postavljaju se $M-1$ vrijednosti praga), po jedan na sredini svake dvije susjedne vrijednosti.

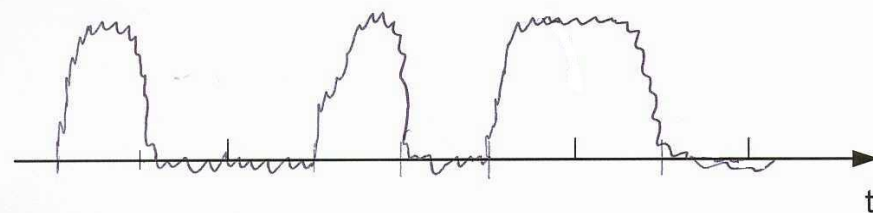




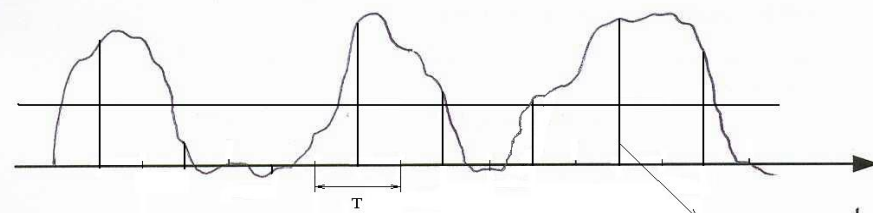
Signal na izlazu iz predajnog pretvarača-digitalni signal.



Prolaskom kroz predajni filter dolazi do izobličenja signala

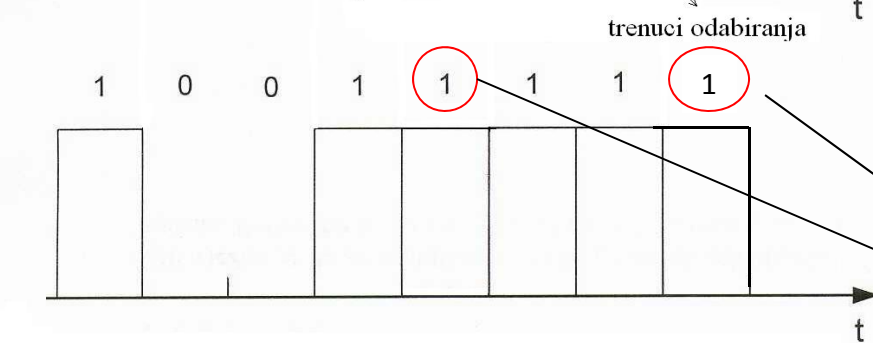


Na liniji veze se signalu superponira šum



Prolaskom kroz prijemni filter šum se ograničava (uskopojasni šum).

Ovaj signal dolazi na sklop za odlučivanje i na osnovu odbiraka (uzetih u sredini signalizacionog intervala) regeneriše se signal.



Signal na izlazu prijemnika, sa greškama koje su se desile u prenosu.

Prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu

- U osnovi postoje dva razloga za pojavu greške pri prenosu digitalnih signala:
 1. Ograničen propusni opseg prijemnog i predajnog filtra, što dovodi do izobličenja signala. Na prijemu se javlja proširenje trajanja poslatog signala, što uzrokuje intersimbolsku interferenciju (ISI)
 2. Prisustvo šuma koji se superponira signalu, pa u procesu odlučivanja može da se donese pogrešna odluka o vrijednosti značajnog parametra signala.

Termin 4 - Sadržaj

- Osnovni parametri digitalnih signala
- Analogno/digitalna konverzija
- Kodiranje digitalnih signala
- M-arni digitalni signal
- **Uticaj šuma na prenos digitalnih signala**

Slučajni šum u telekomunikacionim sistemima

- Šum je neizbježna slučajna pojava koja utiče na prenošeni signal, superponira se signalu poruke, te na taj način mijenja njegove vrijednosti i oblik.
- Šum je slučajna elektromagnetna pojava koja se javlja u svim sistemima i manifestuje se na različite načine. Npr. neželjeni i nepravilni zvučni efekti u slušalici; slučajna svjetlucanja na televizijskom ekranu; greške nastale pri prenosu podataka prouzrokovane su šumom ...
- Šum kao pojava u prenosu signala ima veliki značaj, jer maskiranje signala šumom i greške koje on izaziva su stalno prisutni faktori koji degradiraju kvalitet veza i ograničavaju njihov domet.

Slučajni šum u telekomunikacionim sistemima

- Veliki je broj uzroka zbog kojih dolazi do pojave šuma, pa je saglasno tome napravljena i klasifikacija šumova različitog porijekla:
 - **šum ambijenta** - šum koji postoji u prostoriji korespondenta i koji se transformacijom preko mikrofona prenosi u sistem
 - **šum mikrofona** - potiče od neregularnih struja koje protiču kroz mikrofon i kad nema signala
 - **termički šum** - vodi porijeklo od nepravilnog kretanja elektrona u provodnicima usled toplotnih efekata; **javlja se u svim komunikacionim sistemima**
 - **šum izazvan nelinearnim izobličenjima** složenih signala
 - **šum** nastao zbog **linearnog preslušavanja** iz niza kanala u jedan posmatrani kanal
 - **atmosferski šum** - izazvan prirodnim pražnjenjima u atmosferi
 - **čovjekom izazvan šum** - nastaje zbog varničenja i pražnjenja u električnim uređajima i postrojenjima, itd.

Šum

- U računarskim komunikacijama, najčešće se razmatraju sledeće četiri osnovne kategorije šuma:
 - **termički šum,**
 - **intermodulacioni šum,**
 - **šum preslušavanja i**
 - **impulsni šum.**
- Termički šum nastaje usled termičkog kretanja elektrona u provodnicima i prisutan je u svim električnim uređajima.
- Snaga termičkog šuma se računa prema relaciji:

$$P = kTB$$

gdje je $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ Bolcmanova konstanta, B je širina opsega posmatranog sistema za prenos, a T je apsolutna temperatura izražena u $^\circ\text{K}$

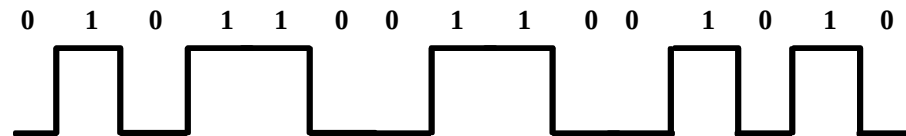
Šum

- Kada signali različitih frekvencija dijele isti transmisioni medijum, može doći do **intermodulacionog šuma**.
- **Šum preslušavanja** se javlja kada se signal iz jednog kanala indukuje u drugom kanalu.
- **Impulsni šum** je nekontinualna smetnja, koja se sastoji od impulsa kratkog trajanja i relativno velike amplitude. Može biti generisan od strane različitih izvora, uključujući električne uređaje raznih namjena.

Šum

Emitovana poruka

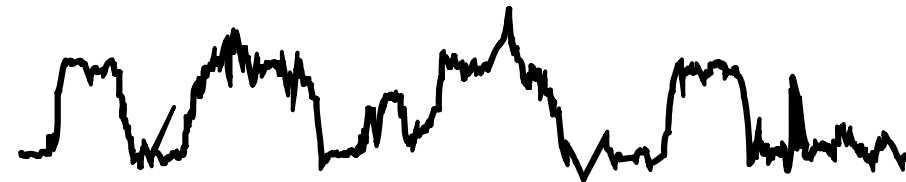
Signal



Šum



Signal+ šum



Trenuci odabiranja



Primljena poruka

0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0

Originalna poruka

0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0

↑
Pogrešan
bit

↑
Pogrešan
bit

Uticaj šuma na prenos digitalnog signala

Vjerovatnoća greške po bitu

- U zavisnosti od toga koliki je relativan iznos amplitude odbirka šuma u odnosu na amplitudu odbirka signala, ovaj poslednji može da bude toliko izmijenjen da prijemnik donese pogrešnu odluku. Kvantitativna ocjena ovog efekta se izražava vjerovatnoćom greške.
- Mjera za ocjenu kvaliteta prenosa digitalnih signala je **vjerovatnoća greške po bitu (BER – Bit Error Rate)**.
 - BER kao metrika daje mogućnost poređenje različitih sistema za prenos digitalnih signala.
- **BER** predstavlja odnos broja pogrešno rekonstruisanih bita i ukupnog broja poslatih bita.