

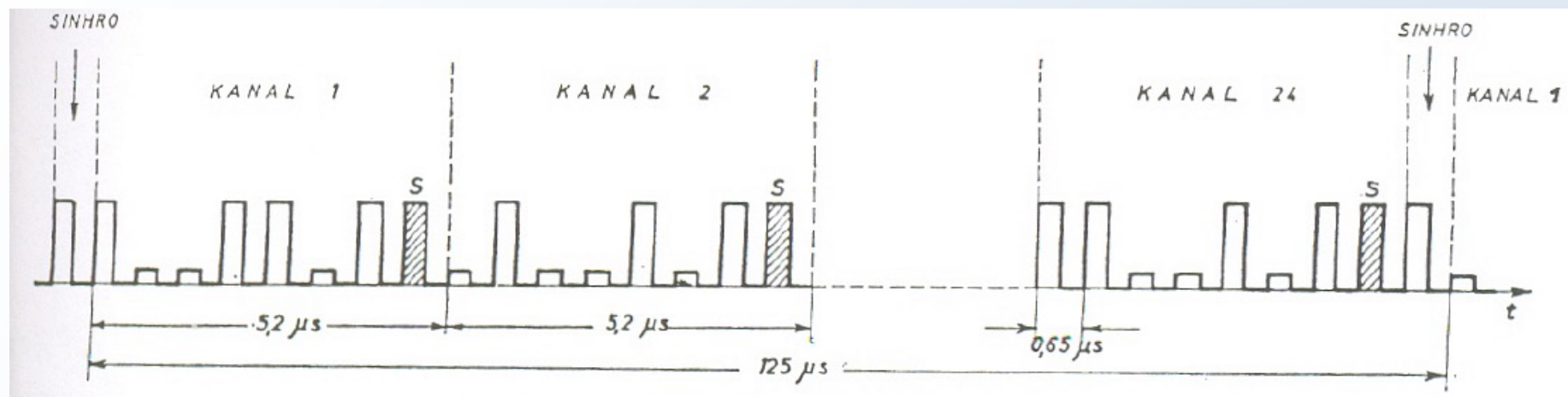
KARAKTERISTIKE SIGNALA U SISTEMU MULTIPLEKSA SA IKM

Postupak impulsne kodne modulacije primjenjuje se za izgradnju sistema multipleksa sa vremenskom raspodjelom kanala. Postoje dva standardizovana sistema: **američki** i **evropski**. Prvi služi za prenos 24, a drugi 30 nezavisnih govornih poruka.

Na ulazu u svaki kanal postoji NF filter na čijem izlazu se dobija signal ograničenog spektra. Pošto je najviša učestanost u spektru govornog signala $f_m=4000$ Hz, perioda odabiranja u svakom kanalu iznosi $T=1/(2f_m)=125\mu s$. Kako u **američkom sistemu** ukupno ima 24 kanala, svakom kanalu na raspolaganju ostaje vremenski interval $125/24\mu s=5,2\mu s$. Rad kanalnih odabirača diktiran je impulsima iz generatora takta. Spajajući paralelno izlaze svih odabirača, dobija se IAM multipleksni signal sa 24 kanala. Ovakav signal se vodi na kompresor, a zatim na kvantizator i koder. Na prijemnoj strani, IKM signal se dekodira i dobija se 24–kanalni IAM signal. On se propušta kroz ekspandor i ulazi u 24–kanalni IAM prijemni uređaj. Prijemni odabirač razdvaja odbirke pojedinih signala. Na izlazu iz kanalnih NF filtara dobijaju se signali koji odgovaraju modulišućim signalima pojedinih korisnika.

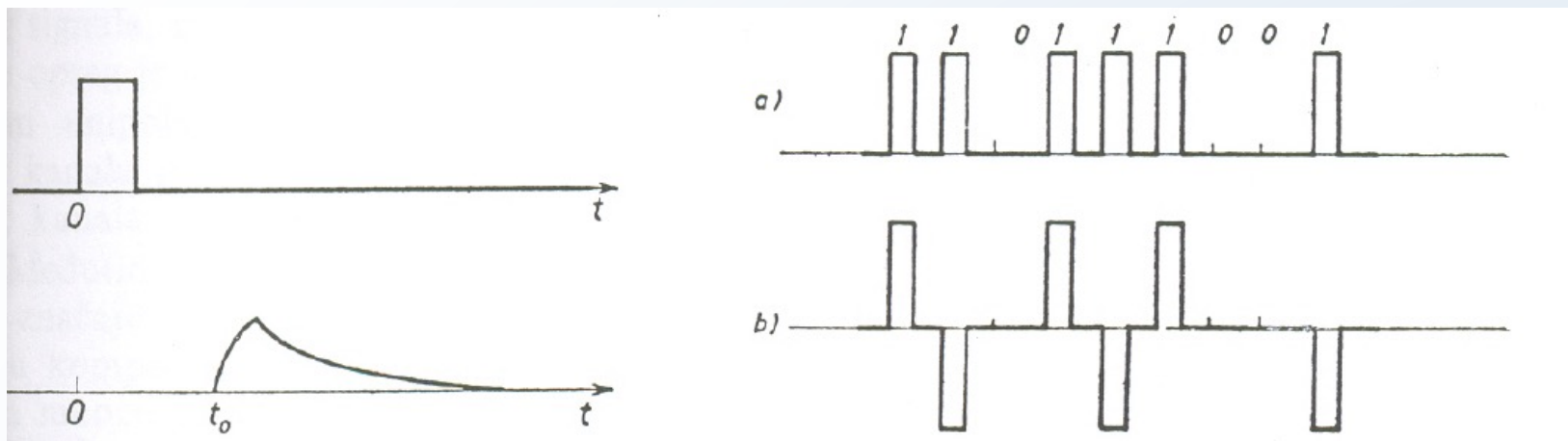
- Broj kvantizacionih nivoa za prenos govora iznosi $q = 2^7 = 128$. Na taj način, jednom odbirku odgovara digitalni signal sastavljen od 7 bita. U svakom kanalu prenosi se još jedan, osmi bit. On predstavlja znake signalizacije koji služe za uspostavljanje veze između korisnika. Prema tome, u intervalu odabiranja od $125 \mu s$ nalazi se ukupno $24 \times 8 = 192$ bita. Međutim, da bi mogla da se uspostavi sinhronizacija rada predajnika i prijemnika, u ovom intervalu šalje se još jedan sinhronizacioni bit, pa njihov ukupan broj iznosi 193. Na taj način, interval u kome se nalazi jedan simbol (bit) iznosi $0.65 \mu s$. To znači da je učestanost ponavljanja bita $f_0 = 1,544 \text{ MHz}$.
- **U evropskom sistemu** perioda odabiranja svakog od 30 telefonskih signala iznosi takođe $125 \mu s$, a broj kvantizacionih nivoa je $q = 2^8 = 256$. Osim ovih 30 kanala postoje još dva 8 – bitna kanala, tako da je kapacitet sistema u stvari jednak $30 + 2 = 32$ kanala. Jedan od ova dva dodatna kanala služi za prenos signalizacije, a drugi za prenos signala za sinhronizaciju. Na taj način, učestanost ponavljanja bita u ovom sistemu iznosi $f_0 = 2,048 \text{ MHz}$.

Na sledećoj slici prikazan je binarni digitalni signal za 24 kanala u intervalu od jedne periode odabiranja.



Talasni oblik binarnog digitalnog signala u sistemu multipleksa sa 24 kanala

Na prethodnoj slici, umjesto 0 bita nacrtani su mali impulsi, kako bi svaki interval simbola bio uočljiviji. Ukupan vremenski interval od 125 μs, često se naziva “okvirom”, ili “ramom”. U praktičnim realizacijama pojedinačni impuls ne zauzima kompletan interval od 0.65 μs, već obično 50% ovog intervala, tako da je faktički širina impulsa 0.325 μs.

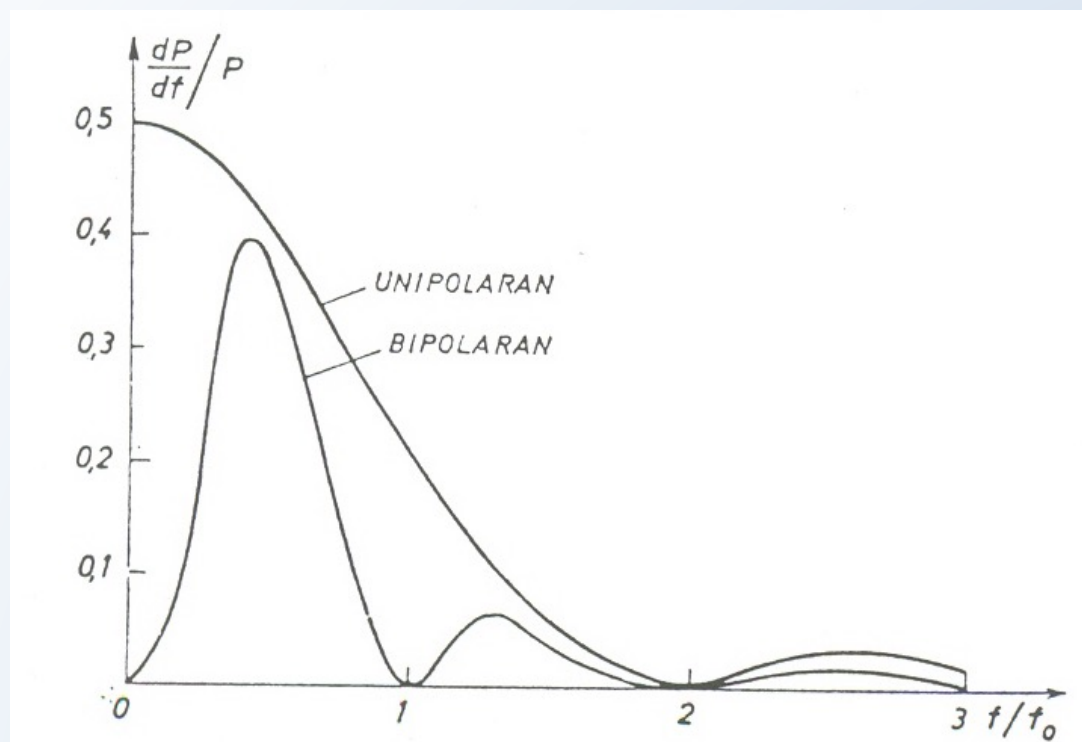


a) Poslati impuls; b) primljeni, deformisan impuls

a) Unipolarni impuls; b) bipolarni impuls

Razlog je u činjenici da tokom prenosa svaki od impulsa biva deformisan zbog amplitudskih i faznih izobličenja, kao što je prikazano na slici iznad. Zbog ovoga, dolazi do interferencije među simbolima. Da bi se ovaj efekat smanjio, uzimaju se impulsi čije je trajanje 50% raspoloživog intervala simbola. Samim tim, opseg učestanosti potreban za prenos se širi: postaje dva puta veći. No, i ovo može da se izbjegne. Umjesto da se prenose unipolarni impulsi, prenose se *bipolarni impulsi*. Prije emitovanja unipolarni impulsi prolaze kroz jedan invertor koji svakom drugom impulsu mijenja znak, tako da na liniju veze izlazi povorka bipolarnih impulsa u kojoj je jedan impuls pozitivan, drugi negativan, treći pozitivan i tako redom.

Na ovaj način se postiže da je opseg učestanosti sistema potreban za prenos bipolarnog signala dva puta manji od onog koji zahtijeva unipolarni signal. Dio spektralne gustine srednje snage slučajnog unipolarnog, i njemu odgovarajućeg bipolarnog signala, prikazan je na sledećoj slici.



Još jedna bitna prednost bipolarnog signala je to što on u svom spektru, za razliku od unipolarnog signala, ne sadrži jednosmjernu komponentu.

ODNOS SIGNAL/ŠUM U SISTEMIMA PRENOSA SA IMPULSNOM KODNOM MODULACIJOM

Razmatraćemo sistem prenosa sa IKM i izvešćemo izraz za odnos srednje snage signala i srednje snage šuma na izlazu iz prijemnika IKM signala uzimajući pri tom u obzir i šum kvantizacije i slučajni šum.

- Posmatrajmo signal $u(t)$ koji treba prenijeti IKM sistemom, i koji ima spektar ograničen učestanošću f_m . Neka je funkcija gustine vjerovatnoće amplitude u , kao slučajne promjenljive, konstantna u intervalu $-\frac{1}{2}U \leq u \leq \frac{1}{2}U$, a izvan tog intervala neka je jednaka nuli.
- U predajniku se uzimaju odbirci ovog signala sa učestanošću $2f_m$ i oni se ravnomjerno kvantiziraju u $q=2^n$ kvantizacionih nivoa. Tako dobijeni odbirci pretvaraju se u binarni signal, na taj način što svakom odbirku pripada jedna kodna riječ obrazovana od n binarnih simbola.
- Kada ovakav binarni signal dođe do prijemnika, prijemnik u svakom signalizacionom intervalu donosi odluku o tome da li je primljen binarni simbol 0 ili 1. Zatim se vrši dekodiranje signala.

Ako pretpostavimo idealne okolnosti prenosa u kojima se ne pojavljuje slučajni šum, greška do koje dolazi u prenosu signala potiče samo od postupka kvantizacije. Srednja kvadratna vrijednost ove greške, odnosno, snaga šuma kvantizacije iznosi:

$$\overline{u_{Nq}^2} = P_{Nq} = \frac{1}{12} (\Delta u)^2$$

gdje je Δu korak kvantizacije.

Srednja kvadratna vrijednost nekvantiziranih odbiraka signala $u(t)$ jednaka je srednjoj snazi signala i iznosi:

$$\overline{u^2} = P_s = \frac{1}{12} q^2 (\Delta u)^2 = \frac{1}{12} 2^{2n} (\Delta u)^2$$

Dijeljenjem ova dva posljednja izraza nalazi se odnos signal/šum kvantizacije.

- Razmotrimo sada slučaj kada je na ulazu u prijemnik IKM signala prisutan i slučajni šum. Ovaj šum se superponira binarnom signalu. Odbirci njihove sume, na osnovu kojih prijemnik donosi odluku, mogu toliko da se razlikuju od odbiraka korisnog binarnog signala, tako da prijemnik može povremeno donijeti pogrešne odluke.

Pretpostavimo da je vjerovatnoća donošenja pogrešne odluke na nivou jednog binarnog simbola P_e . U pitanju je vjerovatnoća greške po bitu i u realnim uslovima ona treba da bude veoma mala (npr. manja od 10^{-4}). Polazeći od P_e može se naći vjerovatnoća da kompletna primljena kodna riječ bude pogrešna.

Neka je kodna riječ sastavljena od n bita. Pošto je vjerovatnoća greške po bitu mala, zanemarljivo mala je i vjerovatnoća da u nekoj kodnoj riječi bude više od jednog pogrešnog bita. Zato se može smatrati da je u kodnoj riječi koja je pogrešna, pogrešan samo jedan bit.

Međutim, taj pogrešan bit nema na svakom mjestu u kodnoj riječi isti značaj. Da bi se to ocijenilo potrebno je poznavati način na koji je izvršeno numerisanje kvantiziranih odbiraka u binarnom sistemu. Pretpostavimo da je krajnjem negativnom nivou pridružen binarni broj 00.....000, sledećem višem 00.....001 i tako redom do krajnjeg pozitivnog, koji je označen sa 11.....111. Usvajajući ovakvu numeraciju, može se o značaju položaja pogrešnog bita u kodnoj riječi reći sledeće:

Ako je poslednji bit pogrešan, onda će se na izlazu dekodera dobijeni odbirak po svojoj amplitudi razlikovati za $\pm\Delta u$ od amplitude odgovarajućeg poslatog odbirka. Ukoliko se pogrešan bit nalazi na pretposlednjem mjestu kodne riječi, greška će iznositi $\pm 2\Delta u$ i tako redom sve do vrijednosti $\pm 2^{n-1}\Delta u$ za slučaj da je prvi bit u kodnoj riječi pogrešan.

Označimo li iznos greške na i -tom mjestu u kodnoj riječi sa e_i , dobija se:

$$e_i = \pm 2^{i-1} \Delta u$$

Ukupan uticaj svih počinjenih grešaka u prenosu signala $u(t)$ najbolje može da se ocijeni preko **srednje kvadratne vrijednosti greške**, koja iznosi

$$\overline{e^2} = \sum_{i=1}^n e_i^2 P(e_i).$$

$P(e_i)$ predstavlja vjerovatnoću da se desi greška e_i . Ona se može naći na sledeći način.

Vjerovatnoća da se pogriješi na i -tom mjestu u kodnoj riječi koja ima n simbola jednaka je

$$P(e_i) = (1 - P_e)(1 - P_e) \dots P_e \dots (1 - P_e) = P_e (1 - P_e)^{n-1}$$

Kako je vjerovatnoća P_e jako mala, to je:

$$P(e_i) \cong P_e$$

Time srednja kvadratna vrijednost greške postaje:

$$\overline{e^2} = P_e \sum_{i=1}^n e_i^2 = P_e \left[(\Delta u)^2 + (2\Delta u)^2 + (4\Delta u)^2 + \dots + (2^{n-1} \Delta u)^2 \right]$$

Suma članova sa desne strane ovog izraza predstavlja geometrijsku progresiju tako da je:

$$\overline{e^2} = P_e \frac{2^{2n} - 1}{3} (\Delta u)^2.$$

Za $n > 2$ ovaj obrazac može da se napiše u približnom obliku:

$$\overline{e^2} \cong P_e \frac{2^{2n}}{3} (\Delta u)^2.$$

- Sada možemo u potpunosti da ocijenimo kvalitet prenosa signala IKM sistemom. U tom cilju treba uzeti u obzir i greške usled kvantizacije i greške prouzrokovane slučajnim šumom na ulazu u prijemnik.

Pošto su ove greške nezavisne, to će srednja kvadratna vrijednost ukupne greške na izlazu iz dekodera biti ravna zbiru njihovih srednjih kvadratnih vrijednosti

$$\overline{u_{Nq}^2} + \overline{e^2} = \frac{1}{12} (\Delta u)^2 + P_e \frac{2^{2n}}{3} (\Delta u)^2$$

Odnos srednje kvadratne vrijednosti amplitude odbiraka signala $u(t)$ i srednje kvadratne vrijednosti ukupne greške je dat sa:

$$A_N = \frac{\overline{u^2}}{\overline{u_{Nq}^2} + \overline{e^2}} = \frac{\frac{1}{12} 2^{2n} (\Delta u)^2}{\frac{1}{12} (\Delta u)^2 + P_e \frac{2^{2n}}{3} (\Delta u)^2} = \frac{2^{2n}}{1 + 4P_e 2^{2n}}.$$

A_N istovremeno predstavlja i odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika IKM signala.