

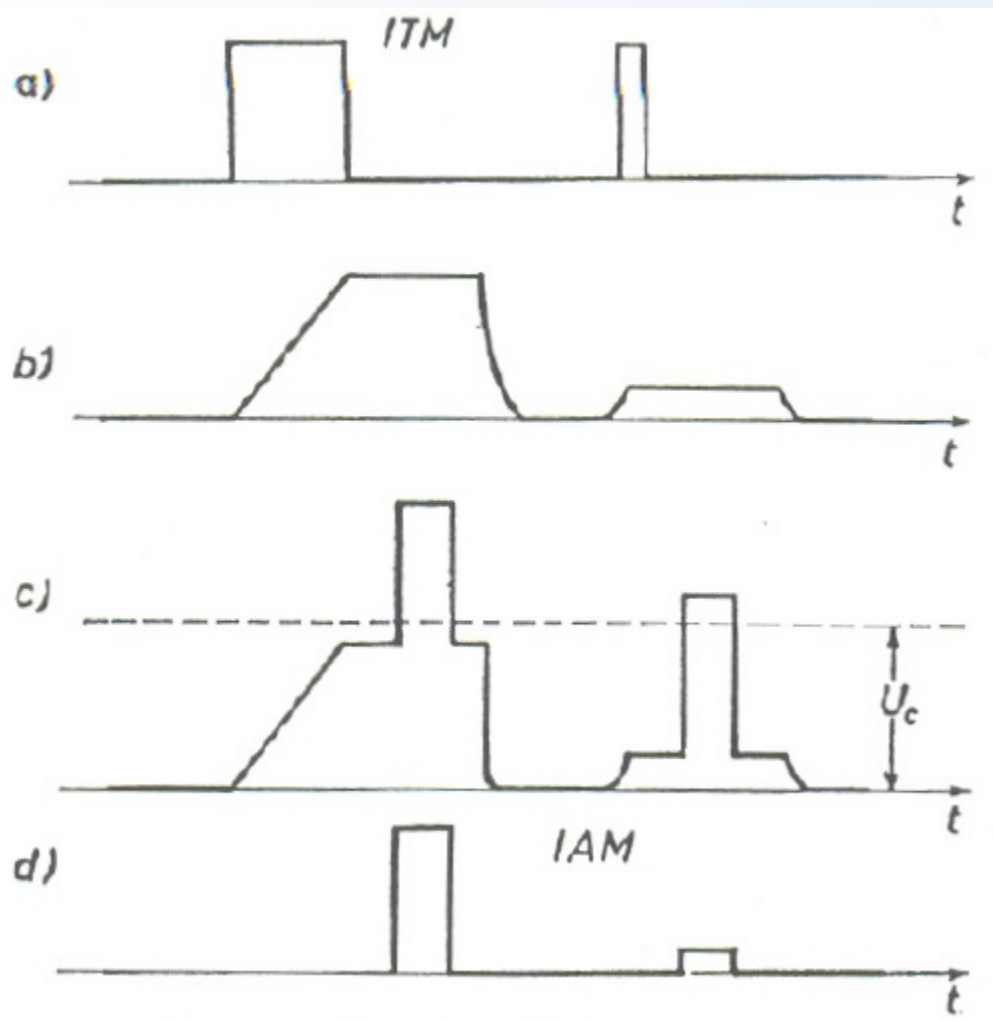
# DEMODULACIJA ITM SIGNALA

Demodulacija ITM signala može da se obavi na dva načina:

1. **Direktno** – upotrebom filtra propusnika niskih učestanosti, jer spektar ITM signala sadrži u sebi spektar signala poruke u originalnoj formi. Pri tome, mora se obratiti pažnja da ne dođe do preklapanja dijela spektra koji predstavlja signal poruke sa fazno modulisanim komponentama, što se postiže smanjenjem devijacije faze, odnosno indeksa modulacije.
2. **Konverzijom ITM signala u IAM signal**, koji se zatim demoduliše upotrebom filtra propusnika niskih učestanosti.

Konverzija ITM signala u IAM signal najčešće se obavlja pomoću kola za pamćenje, odnosno za zadržavanje. To je elektronski sklop u kojem se jedan kondenzator puni tako da je napon na njegovim krajevima direktno srazmjern trajanju impulsa koji ga pobuđuje i koji, po prestanku pobude, vrlo približno zadržava postignuti nivo napona sve do trenutka u kojem se, pražnjenjem kondenzatora kroz neku granu, ne generiše nov impuls čija je amplituda direktno srazmjerna naponu na kondenzatoru.

Na sledećoj slici su prikazani talasni oblici u postupku konverzije ITM signala u IAM signal.



*Talasni oblici u postupku konverzije ITM signala u IAM signal: a) ITM signal; b) napon na kondenzatoru u kolu za zadržavanje; c) impulsi superponirani naponu iz tačke b); d) IAM signal*

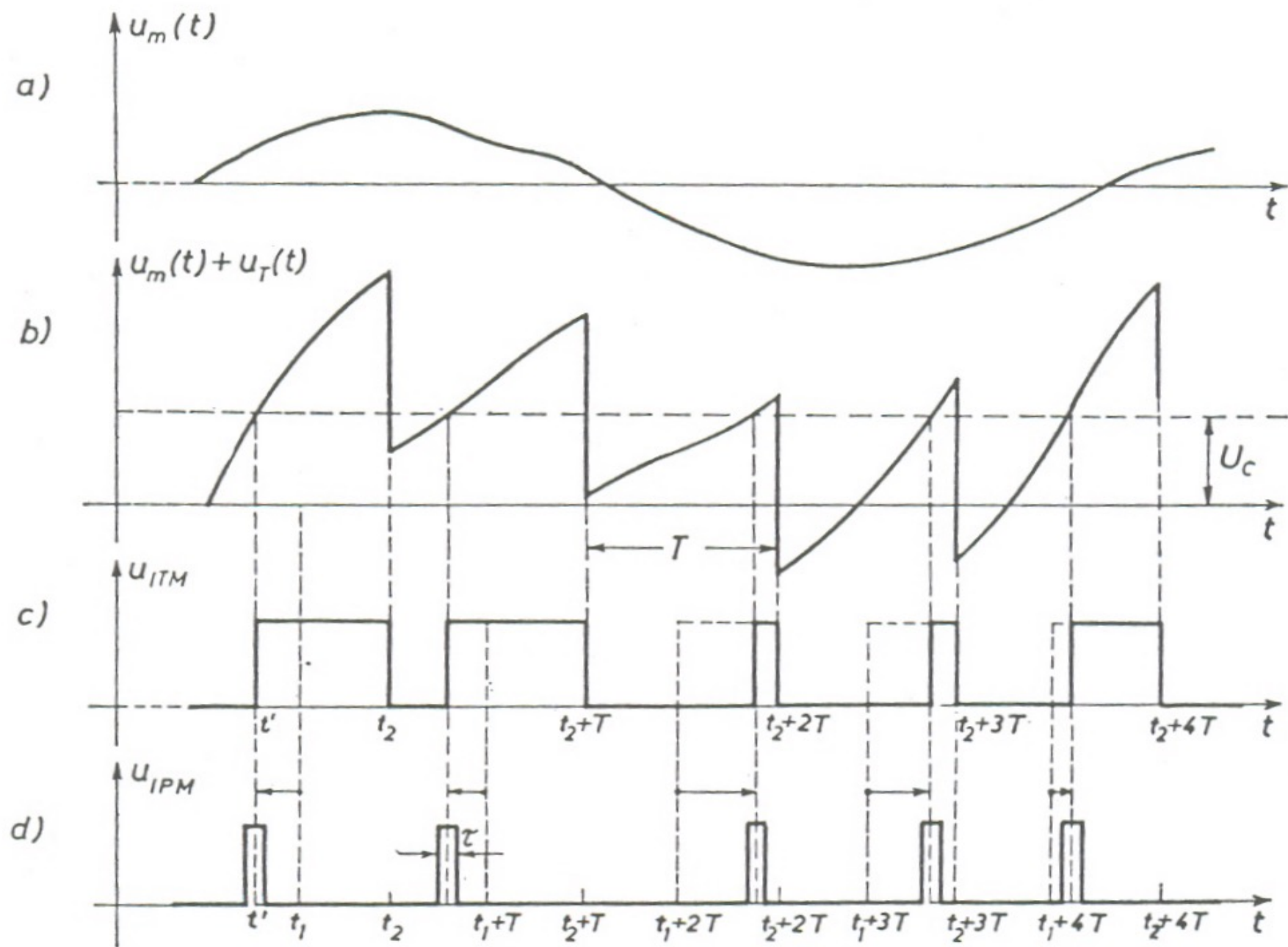
- Na slici pod a) prikazani su impulsi modulisani po trajanju, a pod b) napon koji se dobija na kondenzatoru iz kola za zadržavanje. Ako bi se ovim naponom pobudilo kolo za odabiranje, na njegovom izlazu bi se dobio IAM signal. Međutim, moguć je i jedan drugi postupak. Ako se naponu na krajevima kondenzatora iz sklopa za zadržavanje superponiraju u regularnim intervalima pravougaoni impulsi, onda se dobija napon kao na slici pod c). Pobudi li se ovim naponom neki pojačavač koji je tako polarisan da počinje da provodi pri ulaznim naponima većim od kontrolnog napona  $U_c$ , dobiće se na njegovom izlazu IAM signal prikazan na slici pod d). Na taj način se obavlja konverzija ITM signala u IAM signal. Ako se sada ovaj poslednji propusti kroz filter niskih učestanosti, na njegovom izlazu dobiće se modulišući signal.

ITM je od posebnog značaja za impulsnu položajnu modulaciju koja se iz nje lako izvodi. Inače, u direktnom prenosu ona se ne koristi, jer ova poslednja pruža znatne prednosti.

# IMPULSNO POLOŽAJNA MODULACIJA (IPM)

- Kod ITM nepotrebno se troši energija signala koju sadrži cio impuls jer, sem promjenljivog položaja ivice, ostali njegov dio ne sadrži nikakvu informaciju. Na prevazilaženju ovog problema zasniva se ideja za realizaciju IPM.
- Ako je riječ o prednjoj ivici kao promjenljivom parametru, onda se umjesto cijelog impulsa, čije je trajanje promjenljivo i ravno  $|t - t_2|$ , može prenositi jedan uzak impuls trajanja  $\tau$  koji svojim položajem u vremenu definiše položaj prednje ivice ITM signala. Prema tome, položaj impulsa u odnosu na referentne tačke  $t_1, t_1 + T, t_1 + 2T \dots$  predstavlja promjenljivi parametar u kome je sadržana poruka.
- Impulsna položajna modulacija je manje osjetljiva na šum od IAM. S obzirom na prednosti koje ima nad ITM, ova vrsta modulacije primjenjuje se u sistemima multipleksa sa malim brojem kanala. Realizovani su sistemi za prenos govora sa 12, 24, 36 pa i 60 kanala.

Na sledećoj slici dati su talasni oblici karakteristični u realizaciji impulsne položajne modulacije.



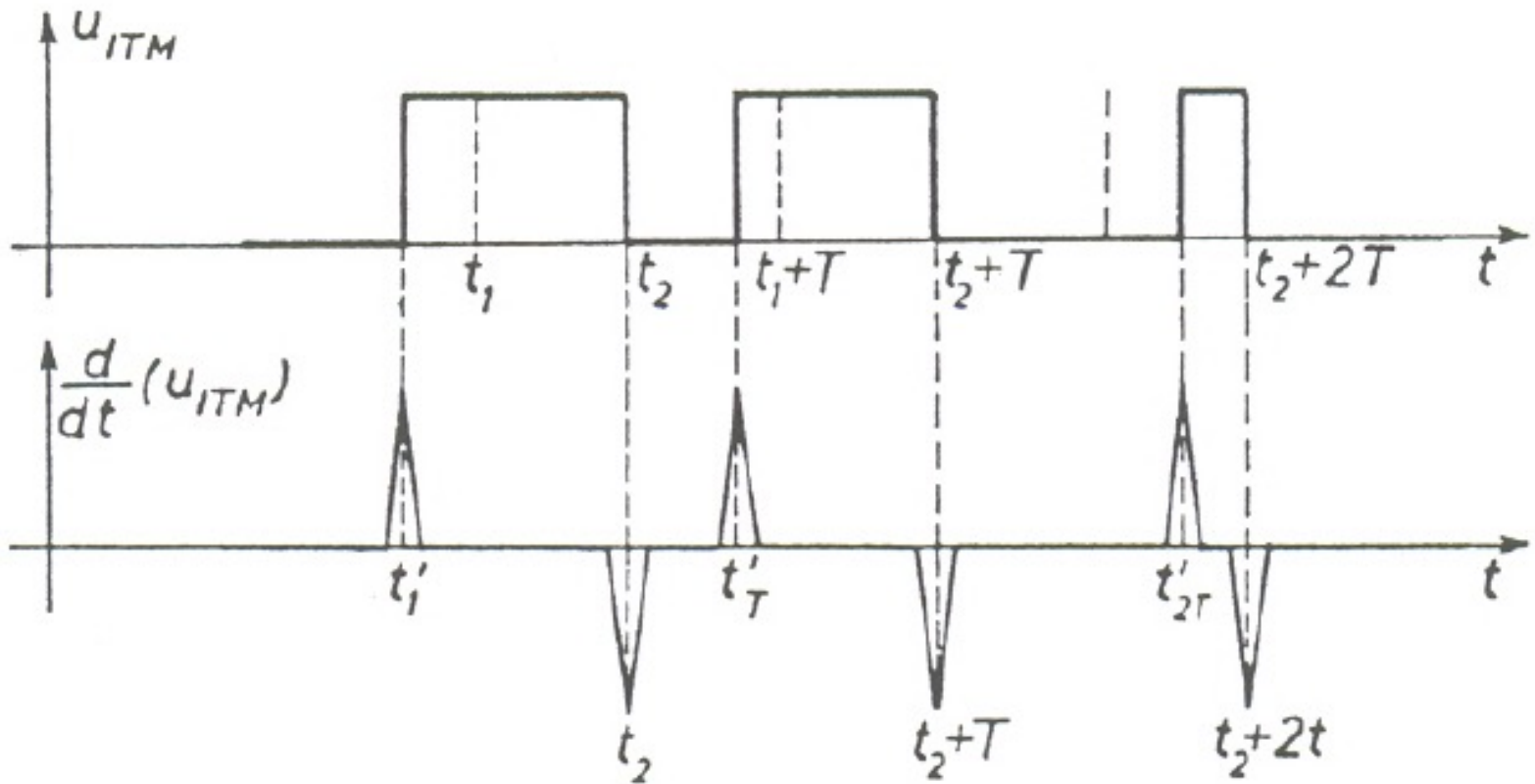
# PRINCIPI REALIZACIJE IPM

Postoji više načina za realizaciju IPM, ali se najčešće koriste sledeća dva:

1. Najprije se proizvede ITM signal, a zatim ovako modulisani impulsi po trajanju pobuđuju jedan elektronski sklop koji na svom izlazu generiše impuls kratkog trajanja svaki put kada modulisana ivica ITM signala prođe kroz neku kontrolnu specificiranu vrijednost.
2. I u drugom načinu se polazi od ITM signala. Propuštajući ovakav signal kroz kolo za diferenciranje, pod uslovom da je njegova vremenska konstanta znatno manja od trajanja ITM signala, od svakog njegovog impulsa dobiće se dva kratka impulsa. Ta dva impulsa imaju suprotan polaritet. Svi ovi kratki impulsi, koji su izvedeni od ivice čiji se položaj mijenja, imaju isti polaritet. Naravno, isto tako i oni koji pripadaju fiksnim ivicama. Ako se ovi poslednji impulsi odstrane, što je moguće učiniti podesno polarisanim linearnim elektronskim sklopom, na njegovom izlazu dobiće se IPM signal.

Na sledećoj slici su prikazani talasni oblici pri realizaciji IPM signala drugom metodom.





Talasní oblici ITM signala  $u_{ITM}$  i diferenciranjem dobijeni signal  $d(u_{ITM})/dt$

# SPEKTAR IPM SIGNALA

Spektar IPM signala može se pronaći koristeći isti analitički pristup koji se koristio pri nalaženju spektra ITM signala. Pretpostavićemo da je  $u_m(t)$  signal čiji je spektar ograničen učestanošću  $f_m$ . To znači da perioda ponavljanja u nemodulisanoj povorci impulsa treba da bude  $T \leq \frac{1}{2f_m}$

Periodična povorka nemoduliranih impulsa data je formulom:

$$u_0(t) = U_0 \left\{ \frac{t_2 - t_1}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\pi} [\sin n\omega_0(t - t_1) - \sin n\omega_0(t - t_2)] \right\}$$

U ovom izrazu za svako  $t = t_1 + pT$ , dobiće se prednja ivica impulsa, a za svako  $t = t_2 + pT$ , njegova zadnja ivica, pri čemu je  $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Položaj prednje ivice modulisanog impulsa u nekom trenutku  $t$  linearno zavisi od modulišućeg signala u tom istom trenutku u kojem se pojavljuje prednja ivica. Ti trenuci  $t$ , u kojima se pojavljuju prednje ivice moduliranih impulsa dati su relacijom:  $t = t_1 + pT - k_T u_m(t), \quad k_T = \text{const.}$



To znači da ćemo umjesto  $t_1$  u izrazu za periodičnu povorku nemoduliranih impulsa staviti  $t_1 - k_T u_m(t)$ .

Zadnja ivica impulsa u ovoj vrsti modulacije također se pomjera. Širina impulsa mora da ostane nepromijenjena i da iznosi  $\tau$ , pa će trenuci u kojima se javlja zadnja ivica impulsa biti definisani izrazom:

$$t = t_2 + pT - k_T u_m(t - \tau)$$

To znači da ćemo umjesto  $t_2$  u izrazu za periodičnu povorku nemoduliranih impulsa staviti  $t_2 - k_T u_m(t - \tau)$

Konačan izraz za IPM signal postaje:

$$u(t) = U_0 \left\{ \frac{\tau}{T} + \frac{k_T}{T} [u_m(t) - u_m(t - \tau)] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\pi} [\sin n\omega_0(t - t_1 + k_T u_m(t)) - \sin n\omega_0(t - t_2 + k_T u_m(t - \tau))] \right\}$$

- Prvi član izraza  $\frac{\tau}{T} U_0$  predstavlja komponentu na učestanosti  $\omega = 0$ .

- Drugi član,  $\frac{k_T}{T} U_0 [u_m(t) - u_m(t - \tau)]$  zavisi od modulišućeg signala. Međutim, on mu nije direktno srazmjeran kao što je to bilo kod ITM.

Njegova spektralna gustina amplituda biće data izrazom:

$$2 \frac{k_T}{T} U_0 |U_m(j\omega)| \sin \frac{\omega\tau}{2}$$

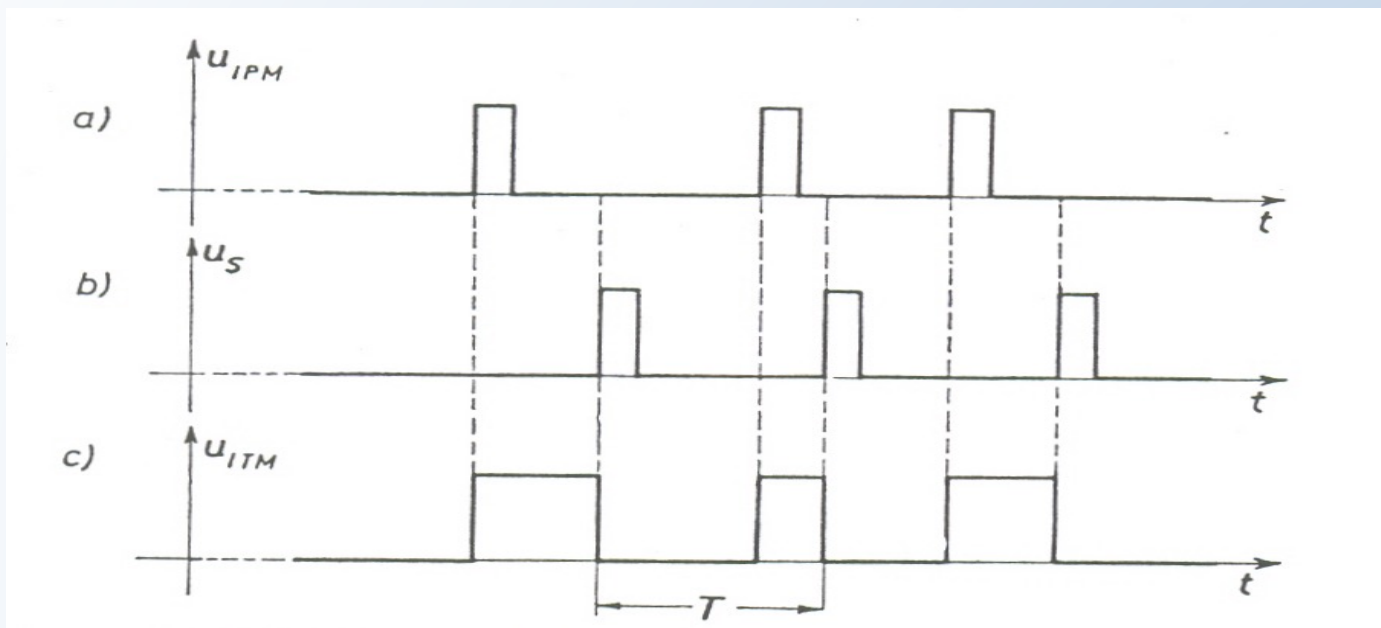
Ovaj član sadrži spektr modulišućeg signala, samo je on izobličen jer se množi faktorom  $\sin \frac{\omega\tau}{2}$  koji zavisi od učestanosti.

- U trećem članu izraza za  $u(t)$  svaki sabirak predstavlja fazno modulisan signal signalom  $u_m(t)$ . Ovakvih fazno modulisanih signala ima beskonačno mnogo. Kako svaki od ovih fazno modulisanih signala ima neograničen spektar, to se svi ti spektri međusobno preklapaju u cijelom opsegu učestanosti od 0 do  $\infty$ .

- Isto ovo važi i za četvrti član izraza, s tom razlikom što je modulišućí signal vremenski pomjeren za  $\tau$ .

# DEMODULACIJA IPM SIGNALA

Za demodulaciju IPM signala najčešće se primjenjuju dva metoda. U prvom, na prijemu se obavi konverzija IPM signala u ITM signal, a onda se ovaj demoduliše. Konverzija se obavlja pomoću elektronskog kola koje ima dva stabilna stanja. Jedno od njih se uspostavlja pod uticajem impulsa IPM signala, a drugo pod uticajem impulsa dobijenih iz generatora sinhronizacionih impulsa u prijemniku. To kolo funkcioniše na sledeći način:



a) IPM signal; b) impulsi iz sinhronizacionog generatora; c) ITM signal.

Kada se na jednom ulazu sklopa pojavi jedan impuls IPM signala, on na njegovom izlazu uspostavi konstantan napon. Trenutak uključenja se poklapa sa trenutkom u kojem se pojavi prednja ivica impulsa. Impuls iz sinhronizacionog generatora koji se dovodi na drugi ulaz sklopa uspostavlja prvobitno stanje: vraća izlazni napon na nulu. Pošto je povorka sinhronizacionih impulsa periodična, jasno je da će impulsi dobijeni na izlazu iz konvertora biti modulirani po trajanju.

U drugom metodu demodulacije koristi se filter niskih učestanosti kome je na izlaz vezan amplitudski korektor. Analizirajući spektar IPM signala vidjeli smo da spektralna gustina amplituda drugog člana glasi:

$$2 \frac{k_T}{T} U_0 |U_m(j\omega)| \sin \frac{\omega\tau}{2}$$

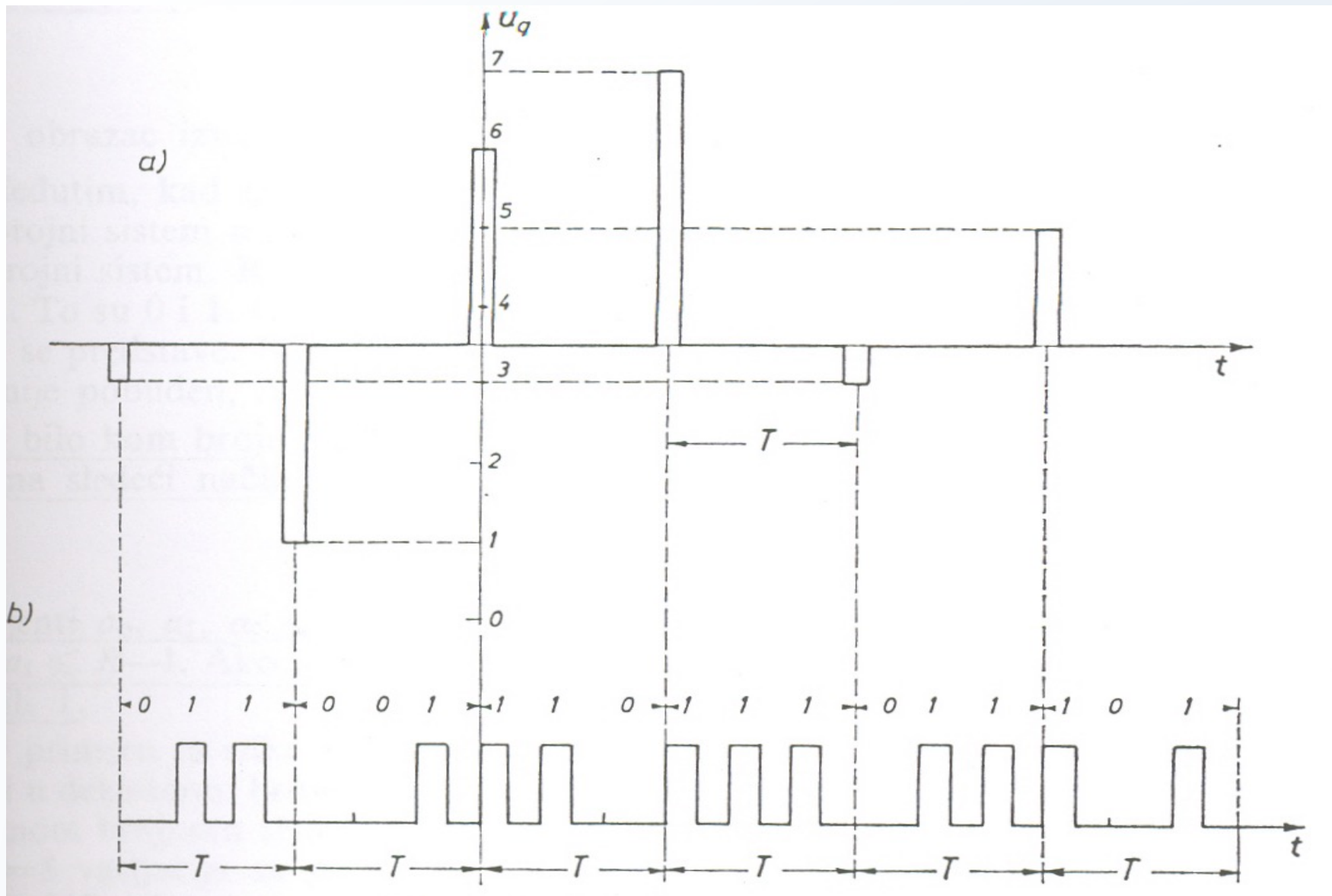
Ovaj član ima spektar u istom opsegu učestanosti kao i modulišući signal od 0 do  $f_m$ , pa on može da se izdvoji filtrom. Ali, spektar koji se dobije na izlazu iz filtra modifikovan je po amplitudi faktorom  $\sin \frac{\omega\tau}{2}$ . To znači da je signal izobličen. Napravi li se korektor koji je u stanju da otkloni ove varijacije, na njegovom izlazu dobiće se neizobličen signal.

# IMPULSNA KODNA MODULACIJA (IKM)

Impulsna kodna modulacija spada u grupu impulsnih modulacija jer modulirani signal ima diskretan talasni oblik. Međutim, princip sistema za prenos signala IKM-om bitno se razlikuje od koncepcija usvojenih u realizaciji svih ostalih vrsta modulacije, uključujući i impulsne modulacije. Faktički, riječ je o postupku koji je predstavnik digitalnih modulacija. Osim oznake IKM mnogo češće se koristi oznaka **PCM** (*Pulse Code Modulation*).

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”



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



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.

Sada možemo umjesto odbiraka prenositi cifre (2, 2, 5, 6, 7, 4, ...), ali se pokazuje nepraktično vršiti prenos cifara dekadnog brojnog sistema. U električnom smislu, mnogo je povoljnije numerisanje odbiraka ciframa binarnog brojnog sistema, jer on ima svega dva različita stanja: 0 i 1.

Ovakva dva simbola u nekom električnom sistemu mogu vrlo lako da se predstave (npr. 1 – ima “struje”, 0 - nema “struje”).

U bilo kom brojnom sistemu čija je osnova  $R$ , neki broj  $N$  uvijek može da se napiše u sledećem obliku:

$$N = \dots + a_2 R^2 + a_1 R^1 + a_0 R^0$$

Koeficijenti  $a_0, a_1, a_2, \dots$ , predstavljaju neki cio broj koji zadovoljava uslov  $0 \leq a_i \leq R - 1$ . Ako je u pitanju binarni brojni sistem  $R = 2$ , koeficijenti  $a_i$  mogu biti 0 ili 1.

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:

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

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

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

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

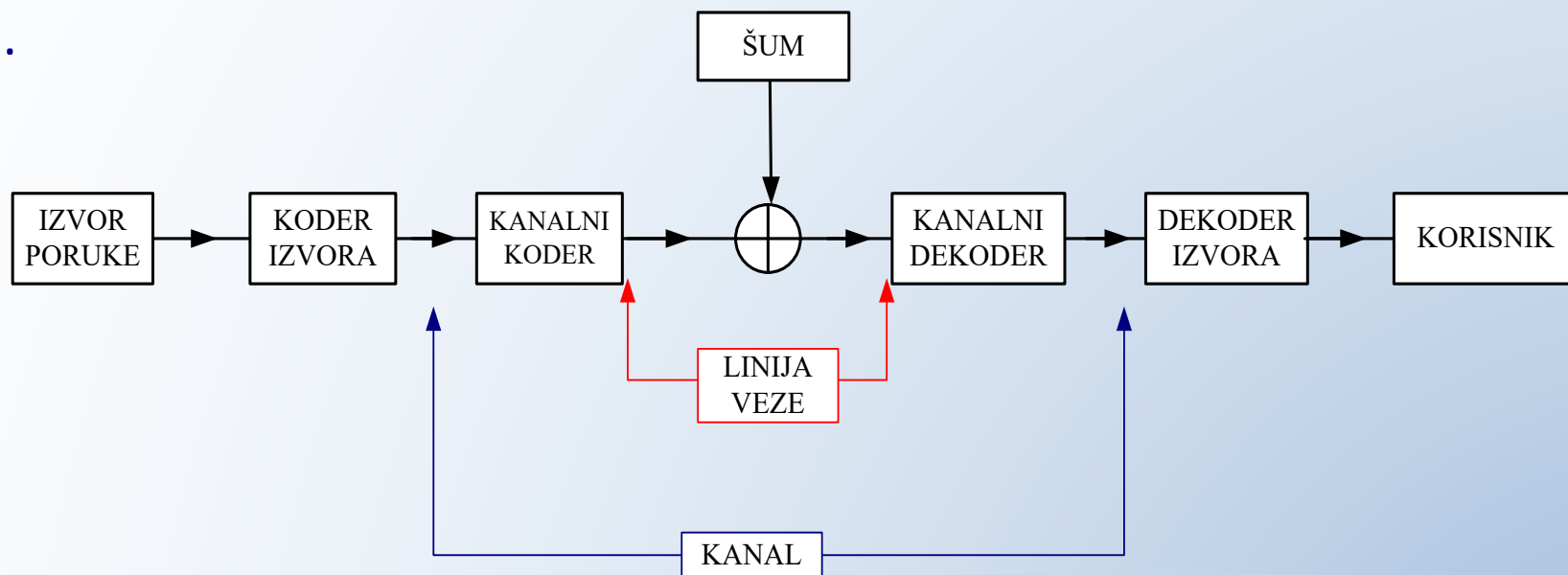
$$4 = 1(2^2) + 0(2^1) + 0(2^0) = 100$$

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

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

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

Ako se na strani predaje impulsi, koji su zahvaljujući kvantizaciji numerisani u decimalnom brojnem sistemu, sada numerišu u binarnom brojnem sistemu saglasno prethodnom kodu, onda umjesto brojeva 3 1 6 7 3 5, treba prenijeti brojeve 011, 001, 110, 111, 011, 101 itd. Ovakvi skupovi u nekom električnom sistemu mogu da se predstave povorkom impulsa i pauza. Ta operacija obavlja se u koderu. Broju 1 odgovara znak, a broju 0 pauza. Na taj način vrši se kodna modulacija kvantiziranih odbiraka signala  $u(t)$ .



**1.Koder izvora** – sastavni dio predajnika koji treba da pretvori poruku u odgovarajući kod (niz simbola iz konačnog skupa različitih simbola)

**2.Kanalni koder** – pretvara koderom izvora kodirnu poruku u signal

**3.Kanalni dekoder** – primljeni signal pretvara u kodiranu poruku

**4.Dekoder izvora** – poruku predstavljenu odgovarajućim kodom prevodi u odgovarajući oblik pogodan za korisnika

Ovakav signal prenosi se kroz sistem do prijemnika. Poznavajući kod, ovi impulsi mogu ponovo da se pretvore u odgovarajuće odbirke. Taj proces se obavlja u dekoderu i kaže se da je signal dekodiran. Propuštajući dekodirane impulse potom kroz niskofrekventni filter, na njegovom izlazu dobiće se signal  $u_q(t)$ . Ako učinjena greška kvantizacije  $u_N(t)$  nije velika,  $u_q(t)$  se neće mnogo razlikovati od  $u(t)$  i prenos će biti prihvatljiv.

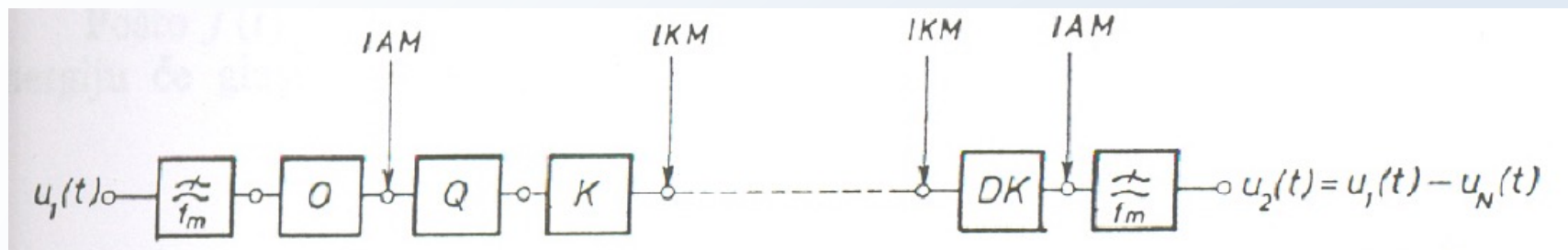
Ovakvi sistemi prenosa diskretnog tipa u kojima se u stvari prenose brojevi nazivaju se **digitalnim sistemima prenosa**.

Ovakvim postupkom modulacije problem prijema svodi se na jednostavan problem odlučivanja. Prijemnik treba svaki put da odgovori na pitanje da li je u datom intervalu predajnik poslao impuls ili ne. Pri tome, talasni oblik primljenog signala može biti značajno deformisan u odnosu na poslani signal. Potrebno je da on bude očuvan samo toliko da prijemnik može da odlučuje, odnosno regeneriše novi signal. Jasno je da svi uređaji i sklopovi jednog ovakvog sistema mogu biti mnogo jednostavniji i manje precizni nego u analognim sistemima prenosa.

Druga prednost je u tome što se u ovim sistemima može tolerisati znatno veći šum nego u analognim sistemima. Ovo zbog toga što u vezi koja ima niz relejnih pojačavačkih stanica šum ima kumulativan efekat kod analognih sistema. Taj kumulativan efekat može da se izbjegne u sistemima sa IKM, jer se na svakoj relejnoj stanici postavlja regenerativni pojačavač.

Glavni nedostatak sistema sa IKM-om je to što su sva poboljšanja postignuta na račun širine propusnog opsega koji sistem mora da ima. Baš radi ovoga, sistemi sa IKM ne primjenjuju se na magistralnim trasama veza koje imaju veliki broj kanala. Ali, zato sistemi multipleksa sa IKM pokazuju svoju ekonomičnost u vezama na kratka rastojanja.

- IKM modulacija omogućava da se od analognog signala dobije digitalni.



Najprije se signal ograničenog spektra diskretizuje po vremenu, tj. obavlja se postupak impulsne amplitudske modulacije. Uzeti odbirci se kvantiziraju pa se potom kodiraju.

- 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  $u_N(t)$ .



- U IKM sistemu sa neravnomjernom kvantizacijom, na izlazu iz ekspandora dobiće se kvantizirani odbirci prenošenog signala. Kada se oni dovedu na ulaz NF filtra, signal na njegovom izlazu predstavljaće kvantizirani signal  $u_q(t)$ .



*Blok šema sistema za prenos sa IKM*

$O$  – predajni odabirač ;  $C$  – kompresor ;  $Q + K$  - sklop za kvantiziranje i kodiranje ;  $D$  – dekodier ;  $E$  – ekspandor.