

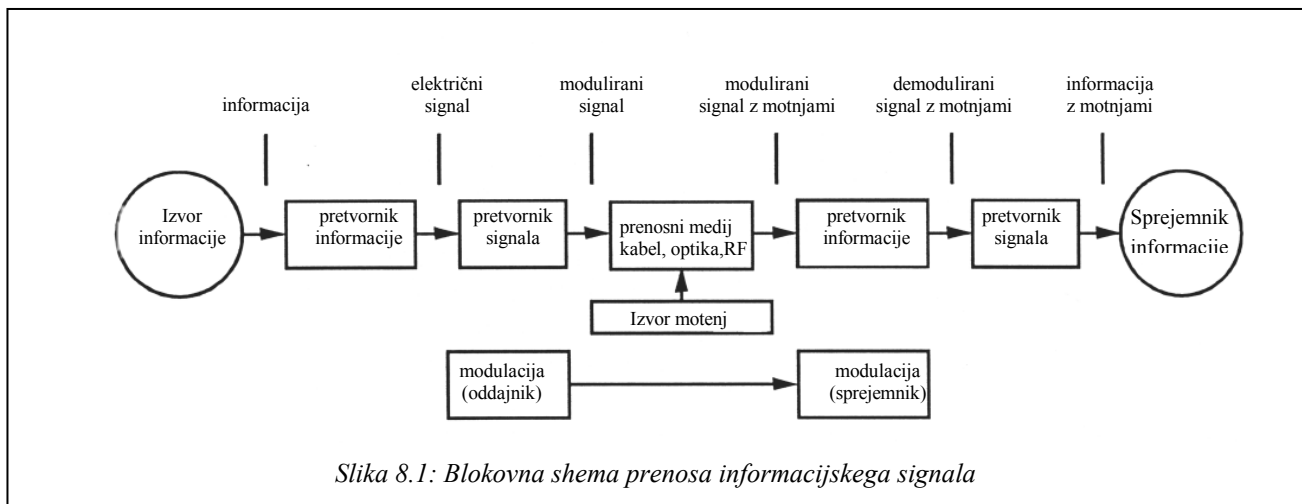
## 8 MODULACIJSKE TEHNIKE

### 8.1 SPLOŠNO O MODULACIJAH

Modulacija je postopek, ki omogoča zapis koristnega signala na nosilni signal. Za nosilni signal je značilno, da ima neko specifično lastnost (npr. sposobnost širjenja elektromagnetnih valov v okolico, prenos videesignala na trak v videorekorderju -FM), ki omogoča, da ga je možno prenašati po ustreznih prenosnih poteh ( elektromagnetno valovanje, infrardeča svetloba, ultrazvok, mikrovalovne zveze, optični prenos,...). Različne vrste modulacij omogočajo različne načine prenosa informacijskega signala, kar je odvisno od vrste in zahtevnosti informacijskega signala, razdalje, hitrosti prenosa, prisotnosti motenj, kvalitete prenosa in drugih dejavnikov. Informacijski (koristni) signal je lahko analogen, digitalen ali pa kombinacija obeh. Moduliranim signalom se tekom prenosa pridružijo še motnje, ki znižujejo kvaliteto prenesenega signala in otežujejo postopek demodulacije oz. rekonstrukcije. Digitalne modulacije imajo v primerjavi z analognimi bistveno prednost, saj je možno signal med samim prenosom večkrat ojačiti ali rekonstruirati, ter ga prenesti do sprejemnika brez napake oz. vpliva motenj. Modulator modulira koristni signal (informacijski signal) na signal nosilne frekvence, ki je lahko sinusne ali impulzne oblike. Na izhodu modulatorja nastane kot modulacijski produkt novi signal, ki poleg informacije vsebuje še specifične lastnosti. Po uspešnem prenosu je potrebno signal ponovno pretvoriti v prvotno obliko z demodulatorjem.

Postopka modulacije in demodulacije sta vmesna člena pri prenosu informacijskega signala od izvora do sprejemnika.

#### Blokovna shema prenosa informacijskega signala



Slika 8.1: Blokovna shema prenosa informacijskega signala

#### Splošni pojmi:

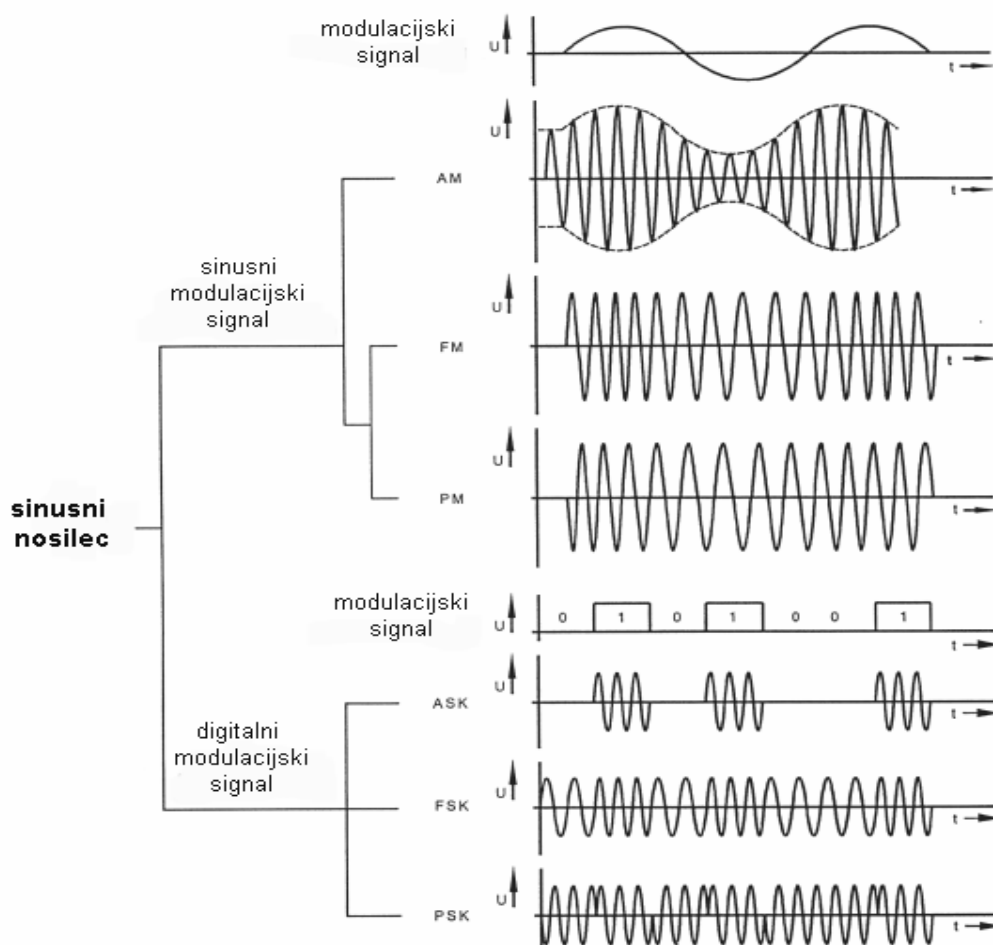
- **Sporočilo ali informacija:** vsaka oblika sporočila katerega želimo pošiljati (npr. govor, slike, podatki, text, izmerjene vrednosti,..)
- **Pretvornik informacije:** pretvarja katerokoli fizikalno veličino izvora električni Signal (npr. mikrofona, merilni pretvornik,..)
- **Pretvornik signala(modulacija)** Če signala iz pretvornika ni mogoče pošiljati direktno kot je npr. možno pri hišni govorni napravi, je potreben postopek modulacije. V splošnem velja, da je potrebno sporočilo pretvoriti v obliko, ki je primerna za prenos naprej ( npr. radijske signale je možno oddajati samo, če jih pretvorimo na višje frekvence, v telefoniji je možna večkratna uporaba prenosnega medija s pomočjo modulacije).

- **Modulirani signal** Pri modulaciji se glede na spreminjanje modulatorskega signala, spreminja eden od parametrov nosilnega signala (npr. frekvenca, amplituda, faza,..)in posledično nastane modulirani signal.
- **Prenosni kanal ali linija** Vsak prenosni medij (npr. kabel,brezžični prenos, optični vodnik, ..) s karakterističnimi značilnostmi (npr. slabljenje, pasovna širina, itd..).
- **Izvor motenj** Vsak izvor, k lahko v katerikoli točki vzdolž prenosne poti dodaja-povzroča moteče signale kot so npr. šum, prasketanje, stikalne motnje, inducirane napetosti, itd..
- **Pretvornik signala** Sprejemnik, ki rekonstruira originalni (modulirajoči) signal skupaj z motnjami.
- **Sprejemnik informacije** Vsak uporabnik sporočila kot npr. uho, oko, regulator, merilna naprava, ...

## 8.2 RAZVRSTITEV MODULACIJ

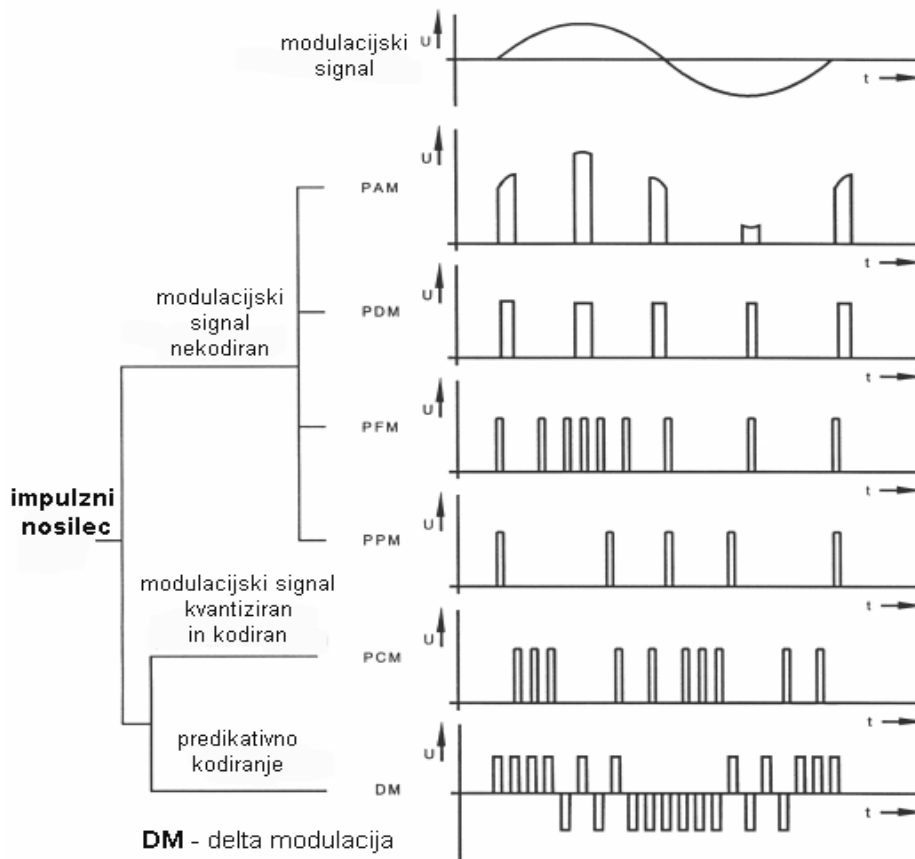
Pri modulacijah lahko vplivamo na spreminjanje različnih lastnosti nosilnega signala (sinusni ali impulzni), kar ima za posledico številne vrste modulacij. Te imajo kot rezultat modulirane signale z različnimi lastnostmi. Pri sinusnem nosilcu lahko vplivamo na frekvenco, amplitudo in fazo pri impulznem pa na amplitudo, fazo, frekvenco, širino, polariteto in kodo. V grobem lahko modulacije razdelimo na tiste s sinusnim nosilcem in tiste z impulznim nosilcem.

### Modulacije na osnovi sinusnega nosilnega signala



Slika 8.2: Razvrstitev modulacij na podlagi sinusnega nosilnega signala

**Modulacije na osnovi impulznega nosilnega signala**



Slika 8.3: Razvrstitev modulacij na podlagi impulznega nosilnega signala

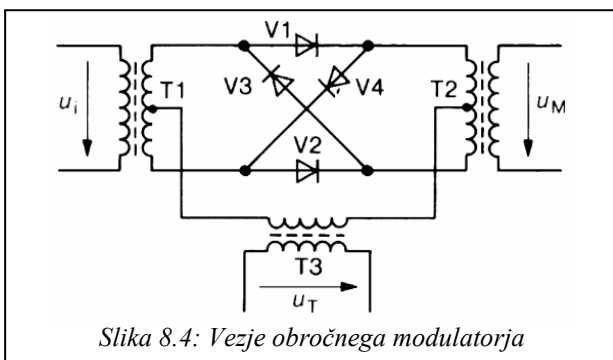
**8.3 MODULACIJE NA OSNOVI SINUSNEGA NOSILNEGA SIGNALA**

Pri teh modulacijah lahko modulirajoči signal nosilcu spreminja amplitudo (**AM**), frekvenco (**FM**) in fazo (**PM**). Modulacijske postopke je možno na istem signalu vršiti večkrat in tudi kombinirano (npr. moduliranje stereo signala).

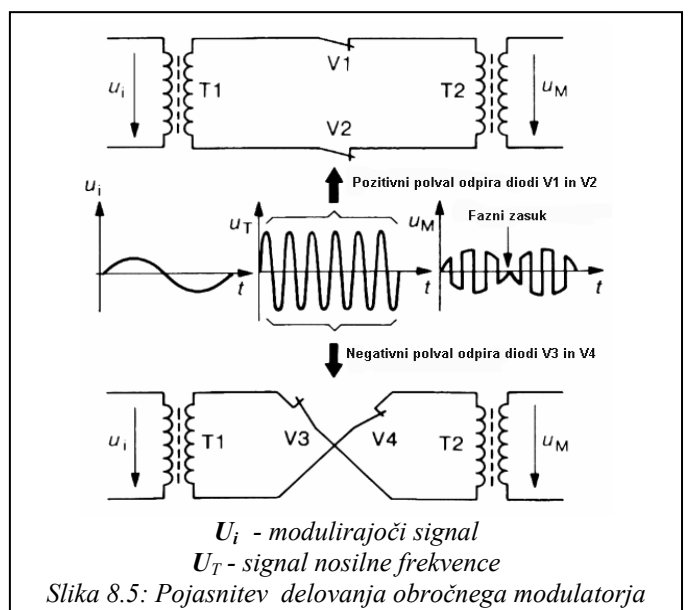
V splošnem lahko zapišemo izraz:  $U = U_v \cdot \cos(2\pi f_v t + \varphi)$  podlagi katerega pri modulaciji lahko vplivamo na:

- $U_v \rightarrow$  dobimo amplitudno modulacijo **AM**
- $f_v \rightarrow$  dobimo frekvenčno modulacijo **FM**
- $\varphi \rightarrow$  dobimo fazno modulacijo **PM**

**Obročni modulator**



Slika 8.4: Vezje obročnega modulatorja



Slika 8.5: Pojasnitev delovanja obročnega modulatorja

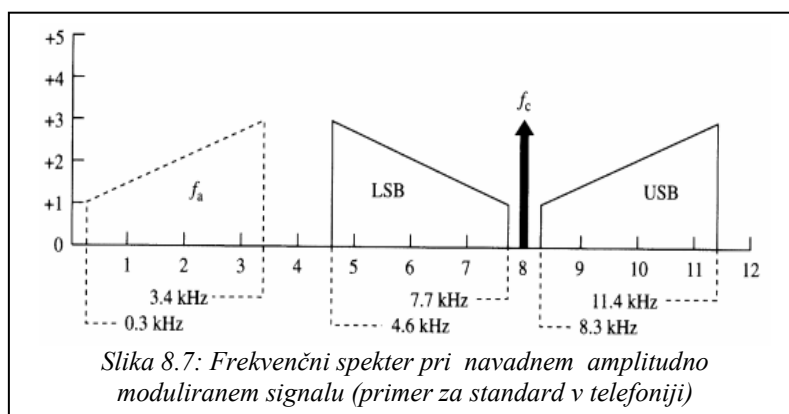
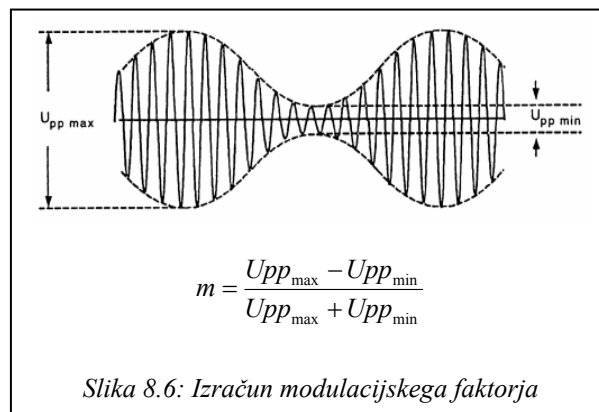
### 8.3.1 AMPLITUDNE MODULACIJE

#### 8.3.1.1 Navadna AM modulacija

Amplitudno modulacijo lahko realiziramo z obročnim modulatorjem, pri čemer je na enem vходу signal nosilne frekvence in na drugem vходу modulirajoči signal, kateremu je pripeta še enosmerna komponenta. Od amplitude nosilne frekvence oz. amplitude modulirajočega signala je odvisna velikost modulacijskega faktorja  $m$ . Spektralni diagram navadne amplitudne modulacije vsebuje nosilno frekvenco in oba bočna pasova (LSB, USB).

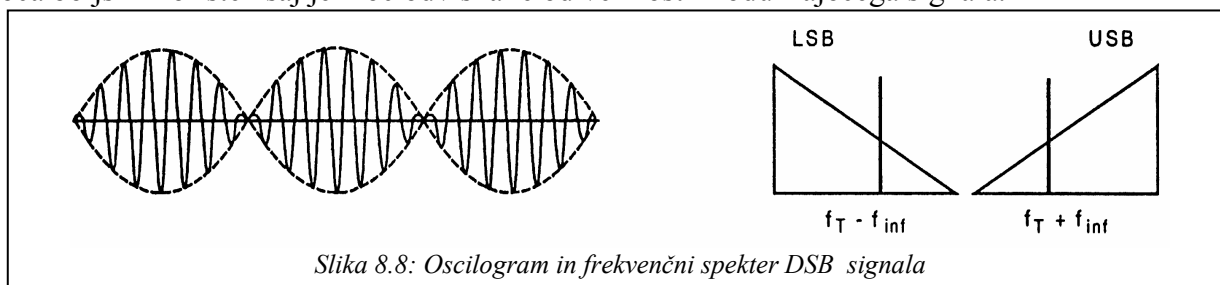
Matematični zapis za navadno AM je:

$$u_m = [f_n(t) + U_c] \sin n\omega t$$



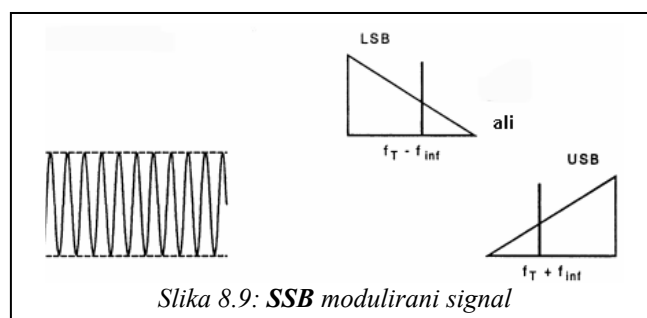
#### 8.3.1.2 DSB- dvobočna AM

Dvobočna AM modulacija nastane, če pri AM modulaciji odstranimo enosmerno komponento v modulirajočem signalu. V tem primeru v signalu na izhodu modulatorja ni nosilne frekvence, kar omogoča boljši izkoristek saj je moč odvisna le od velikosti modulirajočega signala.



#### 8.3.1.3 SSB- enobočna AM

Če DSB signalu odstranimo en bočni pas nastane SSB (Single Side Band) signal za katerega je poleg zelo dobrega izkoristka značilna še ozka pasovna širina, ki je potrebna za prenosni kanal. Slabo stran predstavlja zahtevnejši demodulator. Demodulator je koherentni saj potrebuje poleg diodnega usmernika z filtrom še interni oscilator za nosilno frekvenco in seštevalnik signala.



### 8.3.2 KOTNE MODULACIJE

#### 8.3.2.1 Frekvenčna modulacija

Pri frekvenčni modulaciji (FM) se spreminja frekvenca nosilnega signala v odvisnosti od trenutne napetosti modulirajočega signala. V primeru digitalnega modulirajočega signala zavzema frekvenca FM signala na izhodu samo dve vrednosti- FSK. Nosilna frekvenca je v nekaterih primerih lahko tudi impulzne oblike-PFM. Bistvena prednost FM modulacije je v neobčutljivosti na motnje, slabost pa predstavljajo številne harmonske komponente v FM signalu, kar zahteva večjo pasovno širino.

Za trenutno vrednost FM signala lahko zapišemo matematičen izraz:  $u_v = U_v \sin(\omega_c t + m \sin \omega_n t)$  pri čemer predstavlja  $U_v$  –amplitudo nosilnega signala,  $\omega_v = 2\pi f_v$ ,  $\omega_n = 2\pi f_n$  in  $m$ -modulacijski indeks.

**Frekvenčna deviacija** je razlika med nosiln in najvišjo oz. najnižjo frekvenco v FM signalu in jo izračunamo po obrazcu:

$$\Delta f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2}$$

$$m = \frac{\Delta f}{f_n}$$

Indeks modulacije je:

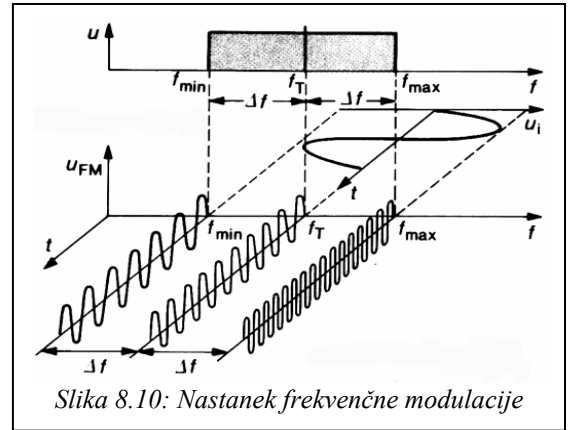
Enačbo za trenutno vrednost FM signala pa lahko razširimo v sledečo obliko:

$$u = U_v \{ J_0 m \sin \omega_v t + J_1 m [\sin(\omega_v + \omega_n) t - \sin(\omega_v - \omega_n) t] + J_2 m [\sin(\omega_v + 2\omega_n) t - \sin(\omega_v - 2\omega_n) t] + J_3 m [\sin(\omega_v + 3\omega_n) t - \sin(\omega_v - 3\omega_n) t] + \dots \}$$

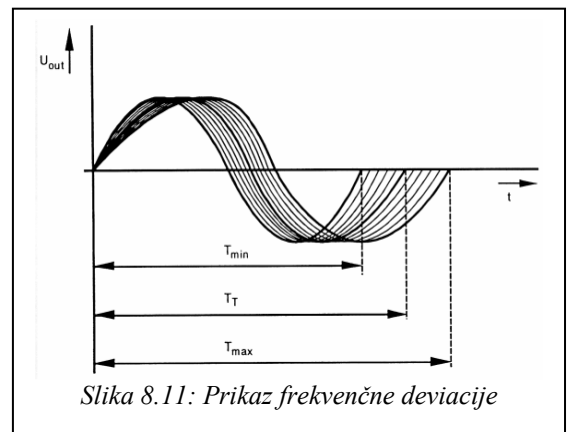
pri čemer predstavljajo  $J_n m$  Besselove funkcije n-tega reda in m-tega argumenta. Te funkcije predstavljajo velikost posameznih harmonskih komponent v FM signalu v odvisnosti od indeksa modulacije.

#### 8.3.2.2 Fazna modulacija

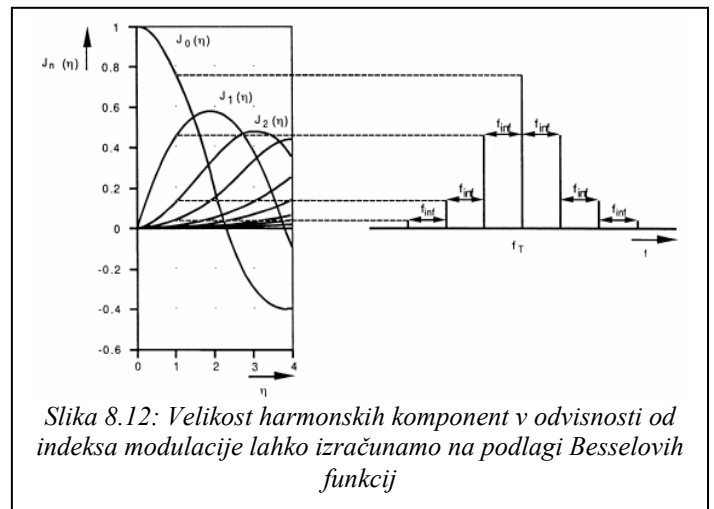
Fazna modulacija je v bistvu frekvenčna modulacija pri kateri je frekvenčna deviacija odvisna od trenutne napetosti in od trenutne frekvence modulirajočega signala. Modulator je v bistvu FM modulator z na vhodu dodanim CR vezjem, ki višje frekvence bolj prepušča, nižje pa manj. Na ta način dobimo visoke frekvence modulirane močnejše, nižje pa manj (*preemphasis*), kar je zaželeno npr. pri postopkih zniževanja šuma v signalu.



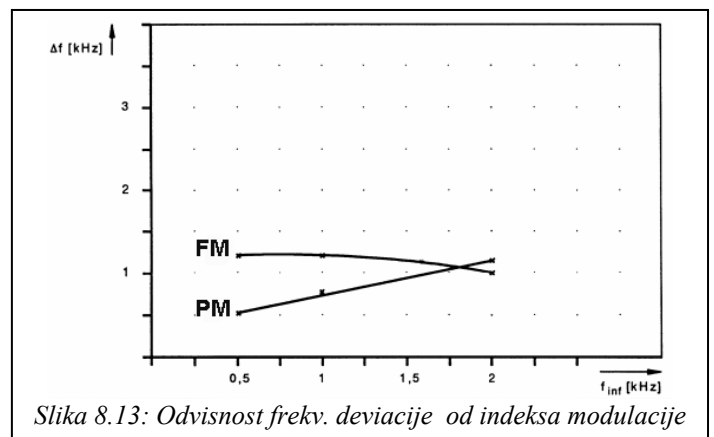
Slika 8.10: Nastanek frekvenčne modulacije



Slika 8.11: Prikaz frekvenčne deviacije



Slika 8.12: Velikost harmonskih komponent v odvisnosti od indeksa modulacije lahko izračunamo na podlagi Besselovih funkcij

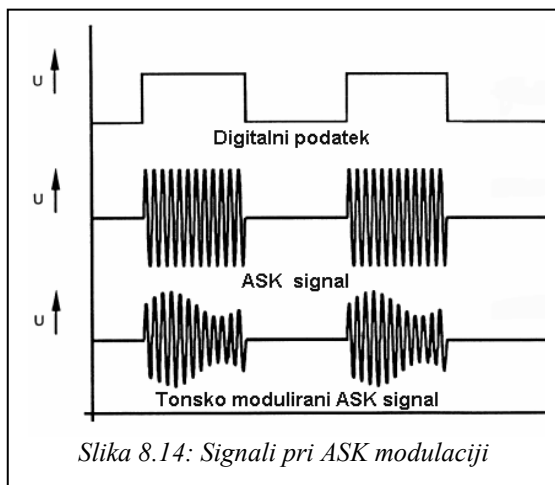


Slika 8.13: Odvisnost frekv. deviacije od indeksa modulacije

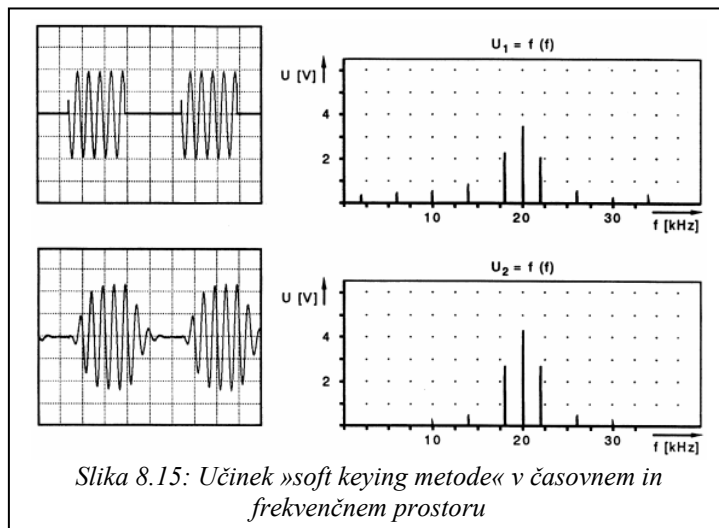
### 8.3.3 MODULACIJE Z DIGITALNIM SIGNALOM

#### 8.3.3.1 ASK modulacija

Pri ASK modulaciji se signal nosilne frekvence amplitudno modulira v odvisnosti od bitov v podatku. Glede na to, da se amplituda skokoma spreminja, vsebuje modulirani signal velik spekter harmonskih komponent. V smislu zmanjšanja harmonskih komponent je v uporabi metoda s katero digitalni signal frekvenčno omejimo, da so prehodi stanj bolj zaobljeni. Na ta način ni več ostrega prehoda, in posledično se tudi v moduliranem signalu amplituda postopoma zvišuje oz. znižuje (*soft keying metoda*). ASK modulacija lahko vsebuje še dodatno amplitudno modulacijo z analognim signalom (*toned keying*).



Slika 8.14: Signali pri ASK modulaciji



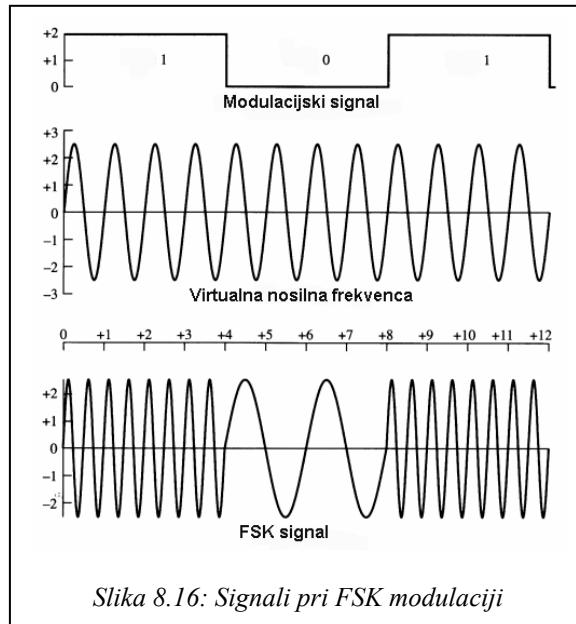
Slika 8.15: Učinek »soft keying metode« v časovnem in frekvenčnem prostoru

#### 8.3.3.2 FSK modulacija

Slabost ASK modulacije je, da v enem od obeh stanj ni signala. To stanje lahko povzroči prekinitev na prenosni liniji. To slabost odpravlja FSK modulacija (2-FSK), pri kateri se dve nosilni frekvenci izmenjujeta med določenima vrednostima, ki pripadata logičnima nivojema (po CCITT velja 1300Hz za logično »1« in 2100Hz za logično »0«). Modulirani signal zahteva frekvenčno območje od 900Hz do 2500Hz. Povprečna vrednost obeh frekvenc je definirana kot navidezna-virtualna nosilna frekvenca  $f_T$ , poleg tega pa so podobno kot pri frekvenčni modulaciji definirani nekateri parametri značilni za FSK modulacijo:

$$f_T = \frac{f_0 + f_1}{2} \quad \Delta f = \frac{f_0 - f_1}{2} \quad \eta = 2 \cdot \frac{\Delta f}{2 \cdot f_S}$$

$f_T$ - virtualna nosilna frekvenca;  $f_0$ - frekvenca za nivo »0«;  $f_1$ - frekvenca za nivo »1«  
 $\eta$ - modulacijski indeks;  $f_S$  – frekvenčni korak;  $\Delta f$ -frekvenčna deviacija



Slika 8.16: Signali pri FSK modulaciji

Podobno kot pri ASK se uporablja tudi pri FSK modulaciji metoda »soft keying« za omejitev višjih harmonskih komponent.

### 8.3.3.3 PSK modulacije (Phase Shift Keying)

Metoda modulacije faznega premika sinusnega nosilnega signala omogoča različne izvedbe PSK modulacij. Med značilnejše spadajo:

- 2-fazna PSK modulacija.....(**2PSK**)
- 4-fazna PSK modulacija.....(**4PSK**)
- 8-fazna PSK modulacija.....(**8PSK**)
- 16-fazna PSK modulacija.....(**16PSK**)
- 16-fazna kvadratura modulacija...(**16QAM**)

Modulacija **16 QAM** je sestavljena iz amplitudne in fazne, vendar so fazne lastnosti bolj izrazite kot amplitudne. Modulacije **2 PSK**, **4 PSK**, **8 PSK** in **16 PSK** pripadajo modulatorjem tipa BPSK (*Binary Phase Shift Key*), modulacija QAM pa QPSK (*Qadrature Phase Shift Key*) modulatorjem.

#### Značilni pojmi pri PSK modulacijah

- **Simbol**- modulirana sprememba, ki pripada določeni bitni kombinaciji
- **Število simbolov v sekundi -S** (hitrost), ki jo zmore modulator je definirana kot:

$$S = \frac{D}{n} \text{ (simbolov/s)}$$

$D$ .....**podatkovna hitrost (b/s)** ;  $n$ .....število bitov za simbol

- **Število različnih simbolov -M**, ki jih omogoča modulacija je podano z izrazom:

$$M = 2^n$$

- **Fazna razlika -P** med sosednjima simboloma je podana z izrazom:

$$P = \frac{360^\circ}{M} = \frac{2\pi}{M} \text{ (rad)}$$

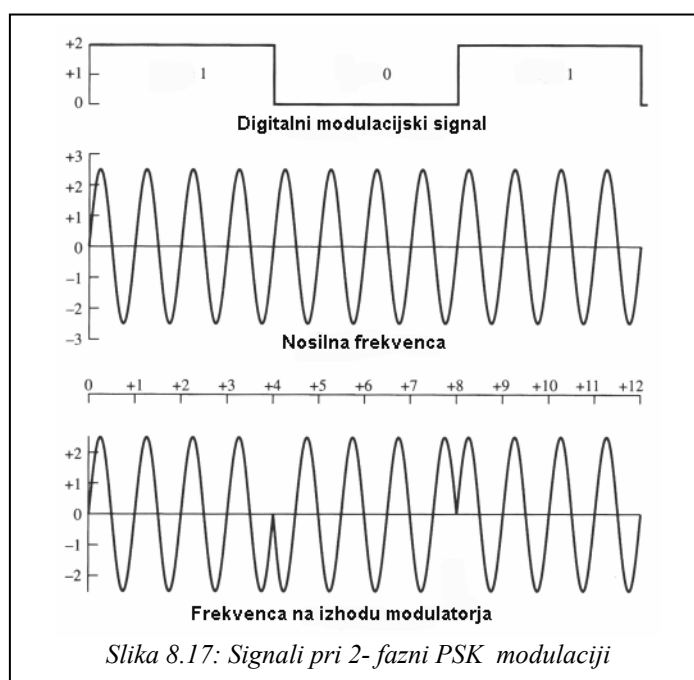
- **Največja hitrost vhodnih podatkov-C** (za modulator) je podana z izrazom:

$$C = B \log_2 M$$

$B$  ...pasovna širina kanala

#### 2 - fazna PSK modulacija

Ta modulacija temelji na faznem premiku  $180^\circ$ . Bit »1« ne obrača faze nosilca, bit »0« pa povzroči fazni premik za  $180^\circ$ . Za modulator je lahko uporabljen kar obročni modulator. Edina razlika med AM oz. ASK modulatorjem in 2PSK modulatorjem je, da je nosilna frekvenca zamenjana z digitalnim modulacijskim signalom. Digitalni modulacijski signal odpira ustrezen par diod, kar omogoča, da je sinusni nosilec enkrat v sofazi in drugič v protifazi.



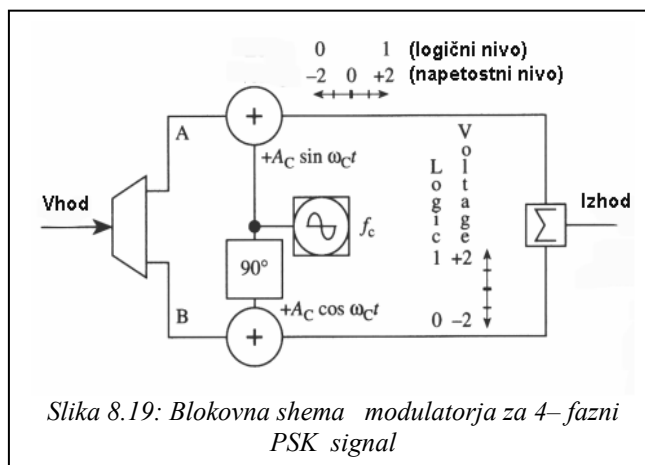
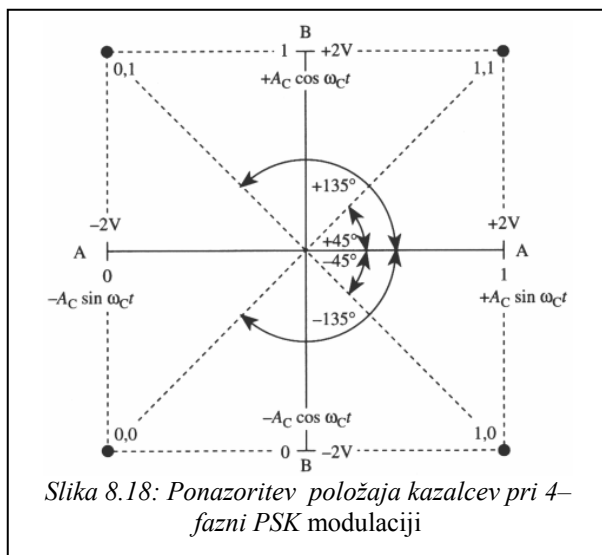
Slika 8.17: Signali pri 2- fazni PSK modulaciji

Glede na to, da se PSK modulacija pogosto uporablja za prenos po telefonskih linijah, katere imajo po standardu frekvenčno območje od 300Hz do 3400Hz, bomo v nadaljevanju računali hitrost prenosa za to pasovno širino (3100Hz).

1. Vsak podatkovni bit vpliva na menjavo faze na  $0^\circ$  ali  $180^\circ$ , kar pomeni  $n=1$  in  $M=2$
2. Hitrost simbolov pri hitrosti podatkov  $D=2400\text{bit/s}$  znaša  $D/n = 2400$  simbolov/s
3. Fazni premik je  $P=360^\circ/2=180^\circ$ , kar pomeni samo dva vektorja v izhodnem signalu
4. Glede na pasovno širino  $B=3100\text{Hz}$ , lahko izračunamo največjo hitrost modulacije podatkov kar znaša  $C=B \cdot \log_2 M = 3100 \cdot \log_2 2 = 3100\text{b/s}$ . To pomeni, da bi višja hitrost podatkov na vходу povzročila napake pri moduliranju.

#### 4 - fazna PSK modulacija

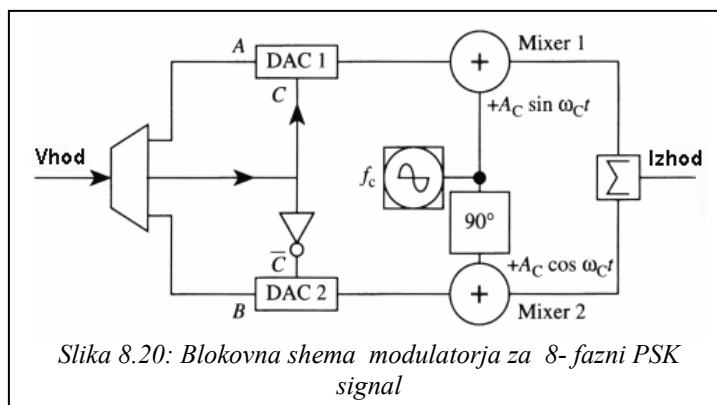
Pri 4PSK modulaciji sta dva bita vhodnega podatka modulirana istočasno s samo eno menjavo faze. Premik faze je po  $90^\circ$ , kar omogoča štiri simbole. Ker je izhodna hitrost sprememb nižja od vhodne, ta modulacija zahteva nižjo pasovno širino kot 2PSK. Na ta način je pri isti pasovni širini (3100Hz) dosežena dvakrat višja dovoljena hitrost podatkov, kar znaša 6200 b/s.



Slika prikazuje poenostavljeno vezje modulatorja, ki je sestavljen iz vhodnega delilnika ali multipleksorja, dveh obročnih modulatorjev in faznega obračalnika za  $90^\circ$ . Vsaka dva bita v podatkovnem signalu postavita izhoda multipleksorja v ustrezen nivo, kar pomeni ustrezno obračanje faze. Zgornji modulator obrača signal nosilne frekvence za  $0$  oz.  $180^\circ$ , spodnji pa za  $90^\circ$  oz.  $270^\circ$ , kar je odvisno od stanja na vходу. Glede na to sta kazalca zgornjega modulatorja na X-osi, kazalca spodnjega pa na Y-osi.

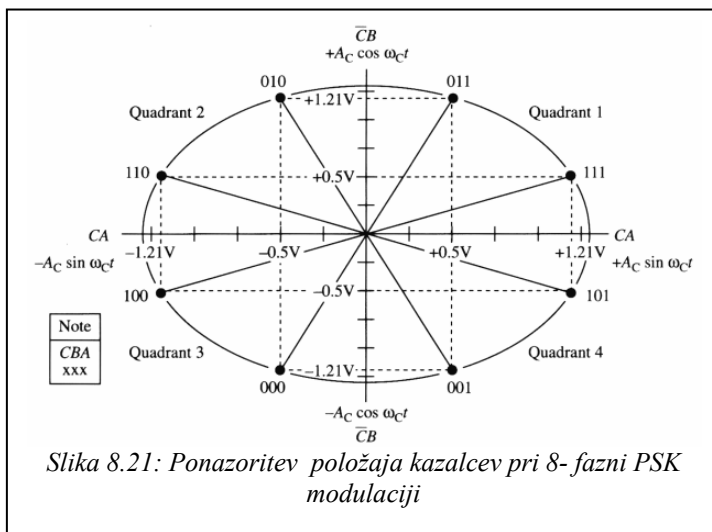
#### 8 - fazna PSK modulacija

Pri tej modulaciji se istočasno modulirajo trije biti. Posledično to pomeni 8 kombinacij in pripadajočih faznih kotov po  $45^\circ$  faznega premika. To omogoča hitrost 800 simbolov/s oz. pri pasovni širini 3100Hz maksimalno hitrost podatkov 9300b/s. 8PSK modulator je sestavljen iz 3-bitnega razdelilnika ali 1-3 multipleksorja, dveh dvobitnih DA pretvornikov, dveh obročnih modulatorjev in seštevalnika na izhodu.



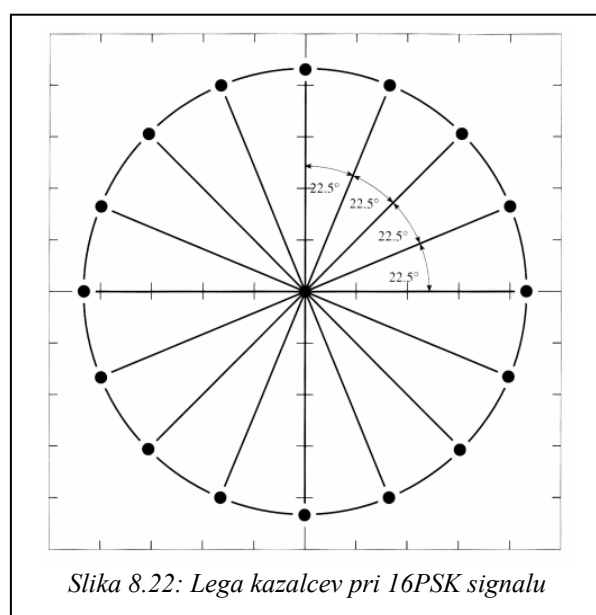


Bit A določa izhodno polariteto pretvornika DAC1, bit B pa izhodno polariteto DAC2. Bit C določa izhodno amplitudo za DAC1 in DAC2. Na vsakem izhodu multiplekserja je frekvenca, ki znaša samo tretjino vhodne. Izhod C je vezan na DAC1 neposredno, na DAC2 pa preko inverterja. Podobno kot pri 4PSK modulatorju tudi pri temu zgornji modulator skrbi za X-komponento in spodnji za Y-komponento kazalca. Seštevalnik obe komponenti sešteje kar posledično predstavlja vektor nosilnega signala.



### 16 - fazna PSK modulacija

V tem primeru se modulirajo istočasno štirje biti, kar pomeni, da vsakemu simbolu pripadajo 4-biti. Glede na to, da je  $n=4$  in  $M=16$  znaša pri podatkovni hitrosti 2400b/s hitrost na izhodu  $S=D/n = 600$  simbolov/s, kar je le četrina vhodne frekvence. Za isti primer pasovne širine 3100Hz lahko izračunamo največjo hitrost podatkov na vhodu, ki v tem primeru znaša  $C=3100 \cdot \log_2 16=12400$ b/s. Med dvema sosednjima kombinacijama bitov znaša pri tej modulaciji fazni kot samo  $22,5^\circ$ . Slika prikazuje fazne razmere za vse možne kombinacije štirih bitov na vhodu.

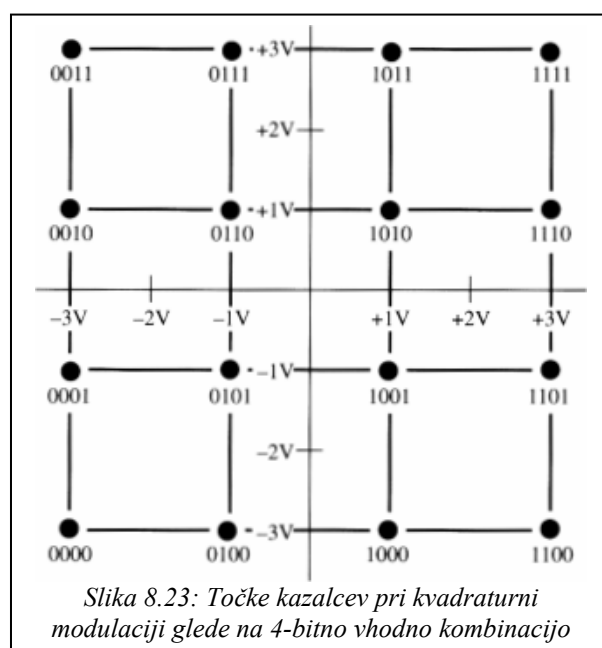


### 16 – fazna QAM (kvadraturna modulacija)

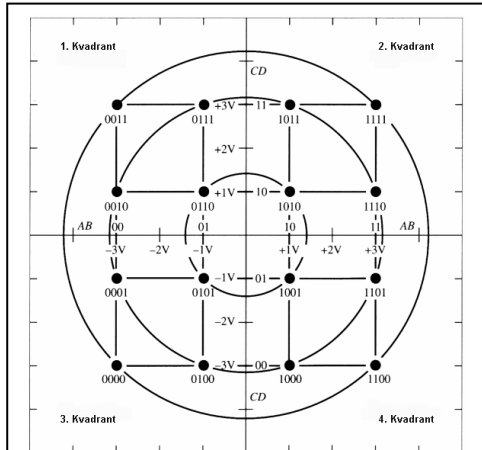
Za kvadraturno modulacijo je značilno, da se lahko istočasno spreminjata faza in amplituda sinusnega nosilca. Bita A in C določata v katerem kvadrantu se bo kazalec nahajal, bita B in D pa določata pozicijo znotraj kvadranta. Bit A je MSB in bit D je LSB. Ta metoda je boljša kot 16PSK modulacija.

#### Modulator

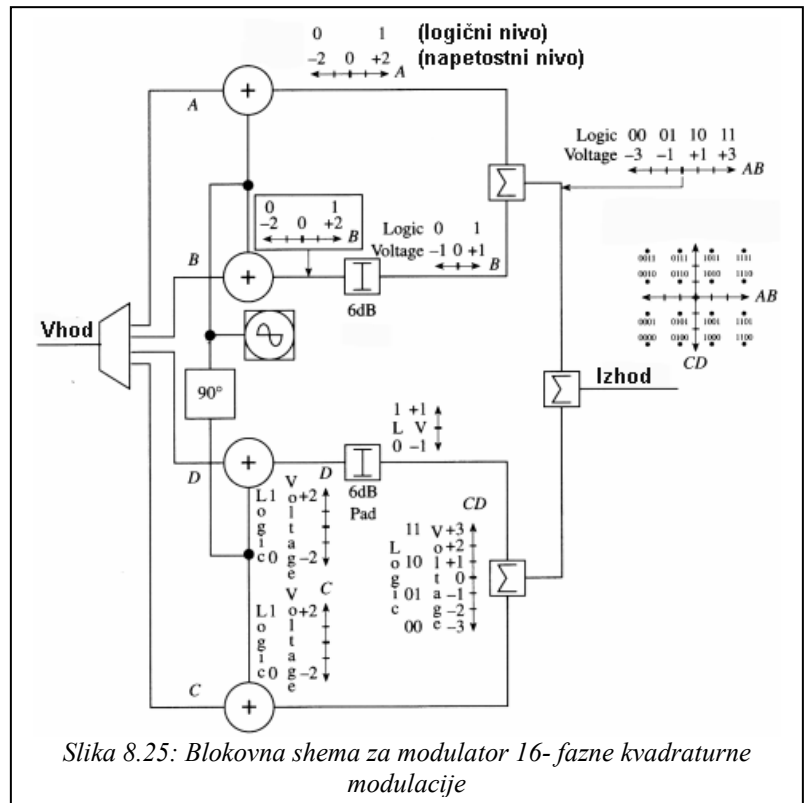
Vezje modulatorja se sestoji iz štirih enakih obročnih modulatorjev. Nosilna frekvenca spodnjih dveh je premaknjena za  $90^\circ$ . Modulatorja zgoraj skupaj določata komponento po X-osi, modulatorja spodaj pa skupaj komponento po Y-osi. Glede na predznak se deleža enkrat seštevata (npr.+3V), drugič pa odštevata (npr. +1V). Horizontalna vsota in vertikalna vsota komponent določata smer vektorja in velikost nosilne frekvence.



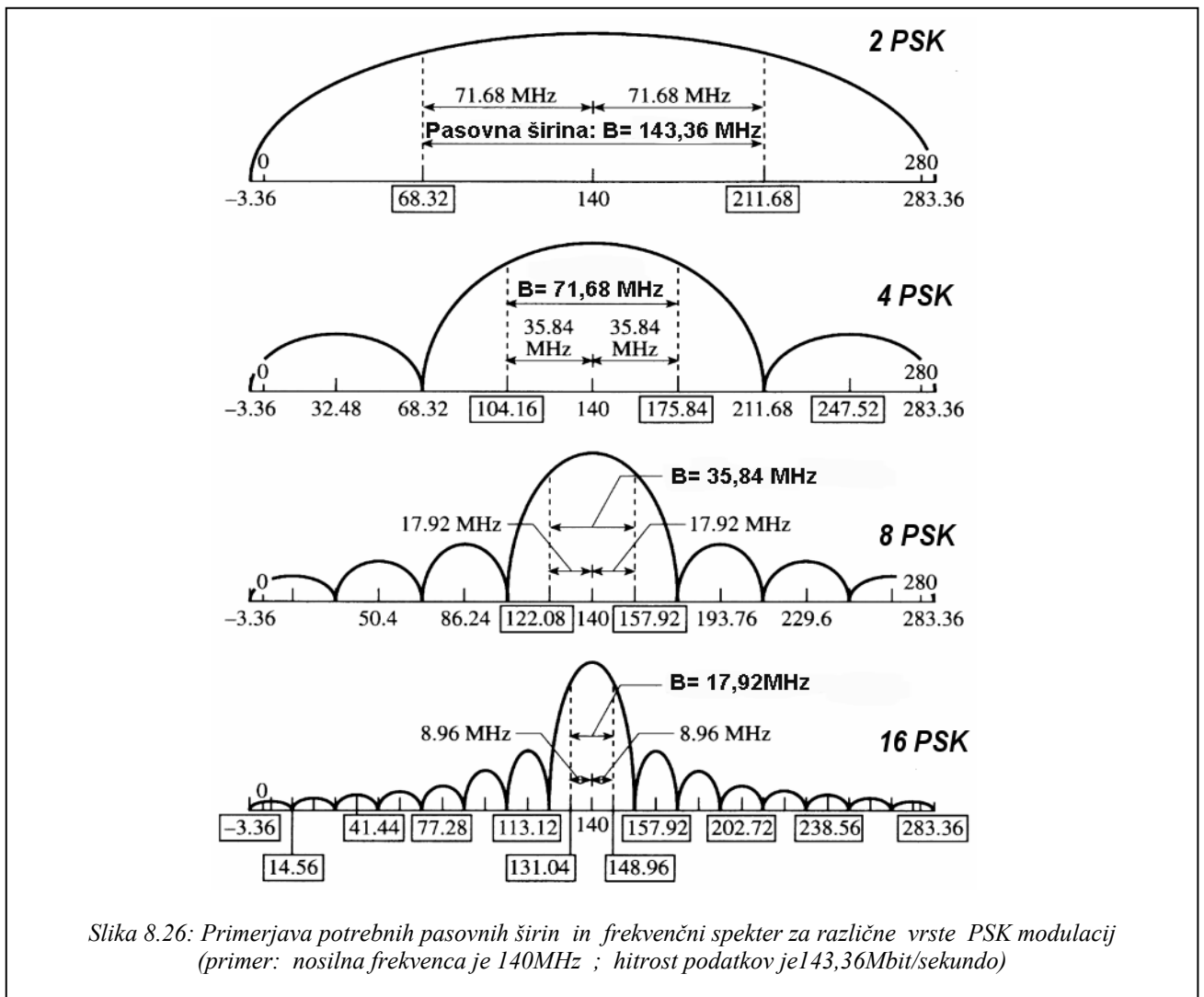
Dva slabilnika za 6dB sta potrebna za razpolovitev vhodne napetosti (0,5V). Vežje omogoča v vsakem kvadrantu tri položaje vektorja, s tremi različnimi amplitudami.



Slika 8.24: Diagram položaja faze in amplitude v odvisnosti od kodne kombinacije na vohu modulatorja.



Slika 8.25: Blokova shema za modulator 16-fazne kvadraturne modulacije

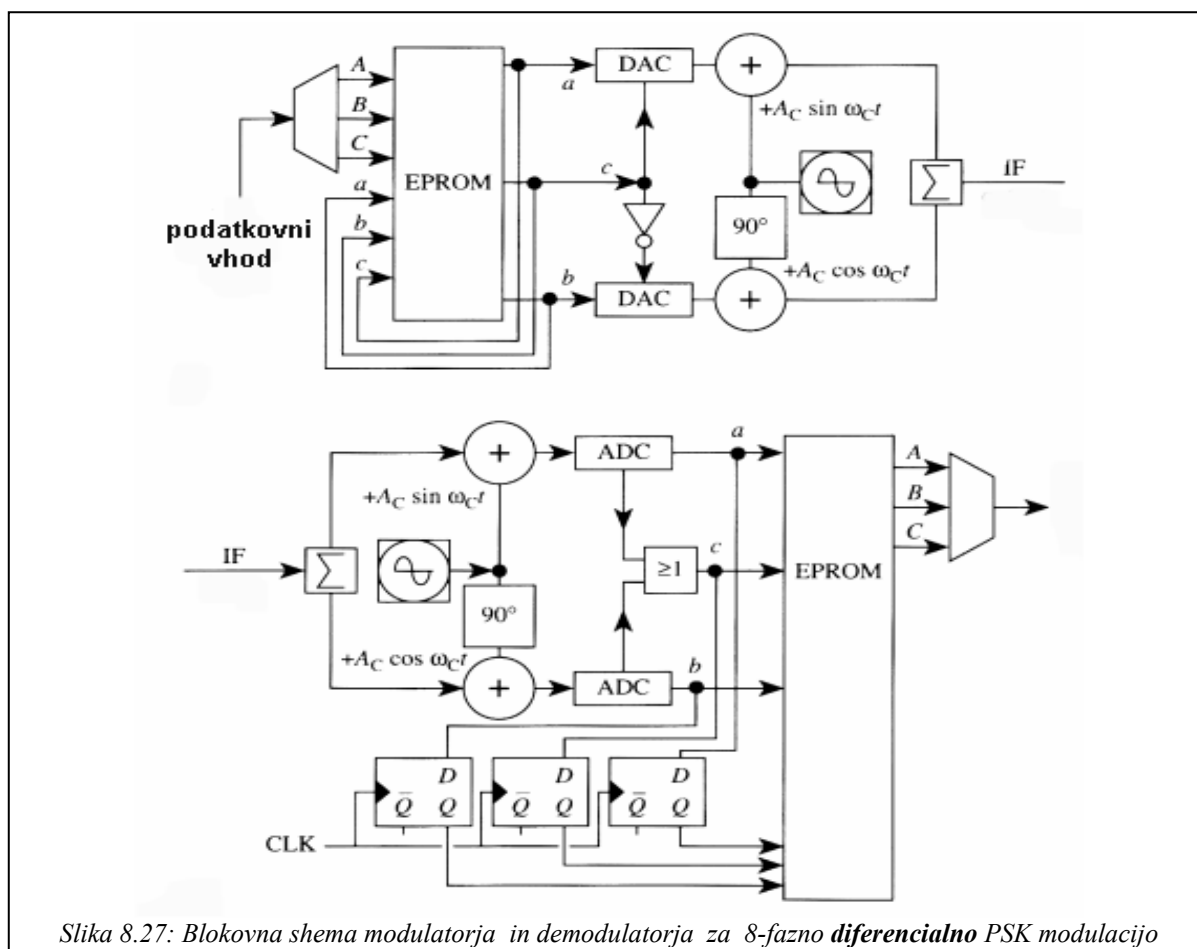


Slika 8.26: Primerjava potrebnih pasovnih širin in frekvenčni spekter za različne vrste PSK modulacij (primer: nosilna frekvenca je 140MHz ; hitrost podatkov je 143,36Mbit/sekundo)

### Diferencialna metoda moduliranja PSK signala

Pri brezžičnem prenosu PSK signala (npr. pri radijskih in mikrovalovnih sistemih) je potrebno uporabiti diferencialno metodo PSK modulacije signala. Brezžični prenos PSK signala skozi »eter« povzroči dodatne fazne zasukе, kar povzroči napačno dekodiranje na strani sprejemnika, zato je potrebno uporabiti **kodiranje fazne razlike**. To pomeni, da bo v PSK signalu namesto kodiranja v absolutni fazi in absolutni amplitudi, uporabljeno kodiranje v obliki relativne faze in amplitude. To omogoča pravilno rekonstrukcijo podatka na strani sprejemnika. V bistvu je sprememba v tem, **da se vsaka naslednja bitna kombinacija še primerja s predhodno in modulator na podlagi razlike ustvari potreben fazni premik nosilne frekvence**. Modulator mora v tem primeru imeti še EPROM, ki omogoča primerjavo stare in nove kombinacije (v bistvu sestavljajo obe kombinaciji naslov vrstice EPROM-a) in na podlagi različnosti kreira novo, ki omogoča v vsakem primeru vsaj  $90^\circ$  fazni premik. Enak EPROM mora seveda imeti tudi demodulator, ki po demodulaciji pretvori relativno kodo v absolutno. Tabela prikazuje primer konverzije bitne razlike v izhodno kodo.

<u>TRENTNI DEL PODATKA</u>				<u>NASLEDNJI DEL PODATKA</u>				<u>FAZN I ZASUK</u>	<u>IZHODNA KODA</u>		
<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>kvadrant t</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>kvadrant t</i>		<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
1	1	0	3	1	0	1	1	+/- $180^\circ$	1	1	1
1	1	1	4	0	0	0	2	+/- $180^\circ$	0	1	1
0	1	1	4	0	1	0	3	$-90^\circ$	0	1	0
0	1	0	3	1	0	0	2	$-90^\circ$	1	1	0
1	1	0	3	0	1	1	4	$+90^\circ$	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	1	$0^\circ$	1	0	0



Slika 8.27: Blokovna shema modulatorja in demodulatorja za 8-fazno diferencialno PSK modulacijo

## 8.4 DIGITALNE MODULACIJE

### 8.4.1 PAM in PCM MODULACIJA

Metoda pretvarjanje analognega signala v digitalno obliko je še posebno pomembna pri večkanalnem prenosu v telefonskem sistemu. Glede na to se bomo omejili na Evropski standard za katerega je značilen frekvenčni pas prenosa od 300Hz do 3400Hz (pasovna širina 3100Hz).

Za pretvorbo analognega signala v digitalno obliko je potreben postopek vzorčenja (kvantiziranje), ki omogoča A/D pretvorniku začasno nespremenljivo napetost. Frekvenca vzorčenja je odvisna od frekvence najvišje harmonske komponente za katero še želimo, da bo zastopana digitalnem podatku. Večinoma velja, da je pretvorba dovolj dobra, če je frekvenca vzorčenja vsaj dvakrat višja od te frekvence v signalu (Shanonov teorem). Glede na določen frekvenčni pas npr. v telefoniji ( $f_{\max} = 3,4\text{kHz}$ ) bo izračunana frekvenca vzorčenja 6,8 kHz, vendar je po CCITT priporočilih izbrana frekvenca 8kHz.

Pri večkanalnem PCM prenosu se poslužujemo časovnega multipleksiranja signalov (*TDM-Time Division Multiplex*) pri čemer je še vedno potrebno upoštevati kriterij vzorčenja, katerega frekvenca mora biti zaradi multiplexa višja. Rezultat multipleksiranja je multipleksirani PAM signal, ki vsebuje kratkotrajne spremembe vseh zastopanih signalov.

PAM signal zaradi spreminjajoče se amplitude v času impulza ni primeren za A/D pretvorbo, zato je potreben še postopek vzorčenja, ki se mora izvajati sinhrono z multipleksiranjem.

Po postopku vzorčenja (*SH-Sample & Hold*) dobimo signal stopničaste oblike (*S/H signal*), katerega pa lahko A/D pretvornik sinhrono pretvarja. Po A/D pretvorbi je potrebno podatek večinoma pretvoriti v serijsko obliko in ga opremiti s sinhronizacijskim in drugimi kontrolnimi impulzi. Podatkovni biti za posamezen signal so grupirani v skupine (npr. po 8-bitov.), ki si sledijo ena za drugo in tvorijo okvir- *frame*. Glede na Evropski standard vsebuje okvir- *frame* 30 govornih in dva pomožna kanala. *Frami* so lahko grupirani naprej v *Multiframe* (slika na naslednji strani).

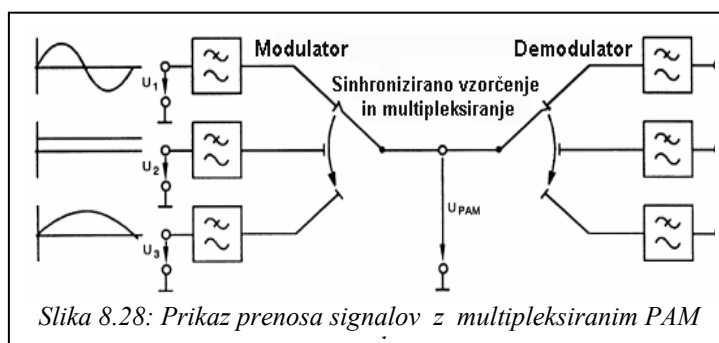
#### Priporočeni standardi

Mednarodna zveza ITU (*International Telecommunication Union*), ki je pod okriljem organizacije UN priporoča dva standarda:

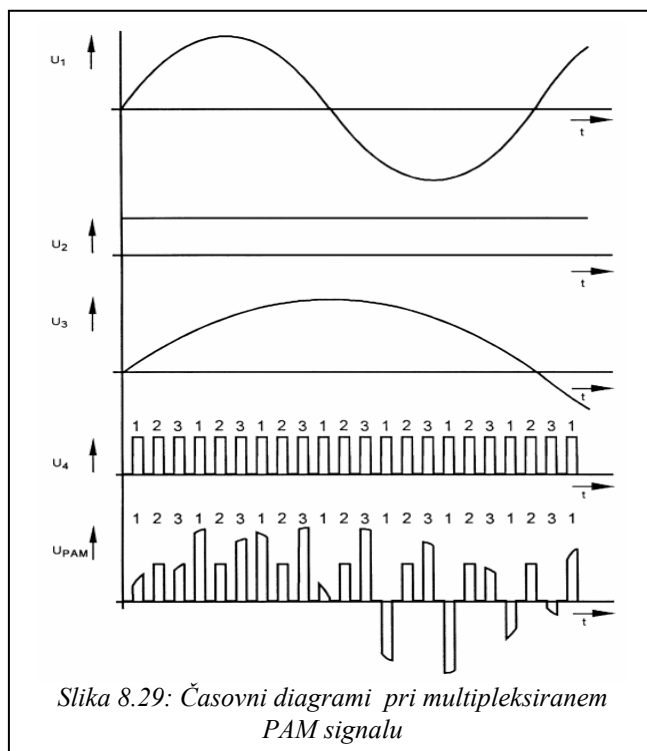
- Severno ameriški standard
- Evropski standard

Za evropski standard velja, da je priporočen 30/32 kanalni PCM prenos. Ta prenos vsebuje 30 govornih kanalov, sinhronizacijski kanal in kanal za signalizacijo. Hitrost linijskega prenosa znaša 2.048 Mb/s, s frekvenco vzorčenja 8 kHz za vsak kanal.

Sistem se lahko adaptira na skupni sinhronizacijsko/signalni kanal, kar omogoča 31 govornih kanalov.



Slika 8.28: Prikaz prenosa signalov z multipleksiranim PAM



Slika 8.29: Časovni diagrami pri multipleksiranem PAM signalu

**Časovni in frekvenčni izračuni parametrov PCM prenosa (primer za evropski standard)**

$f_s$ .....frekvenca vzorčenja (sampling frequency) (npr. določena 8kHz)

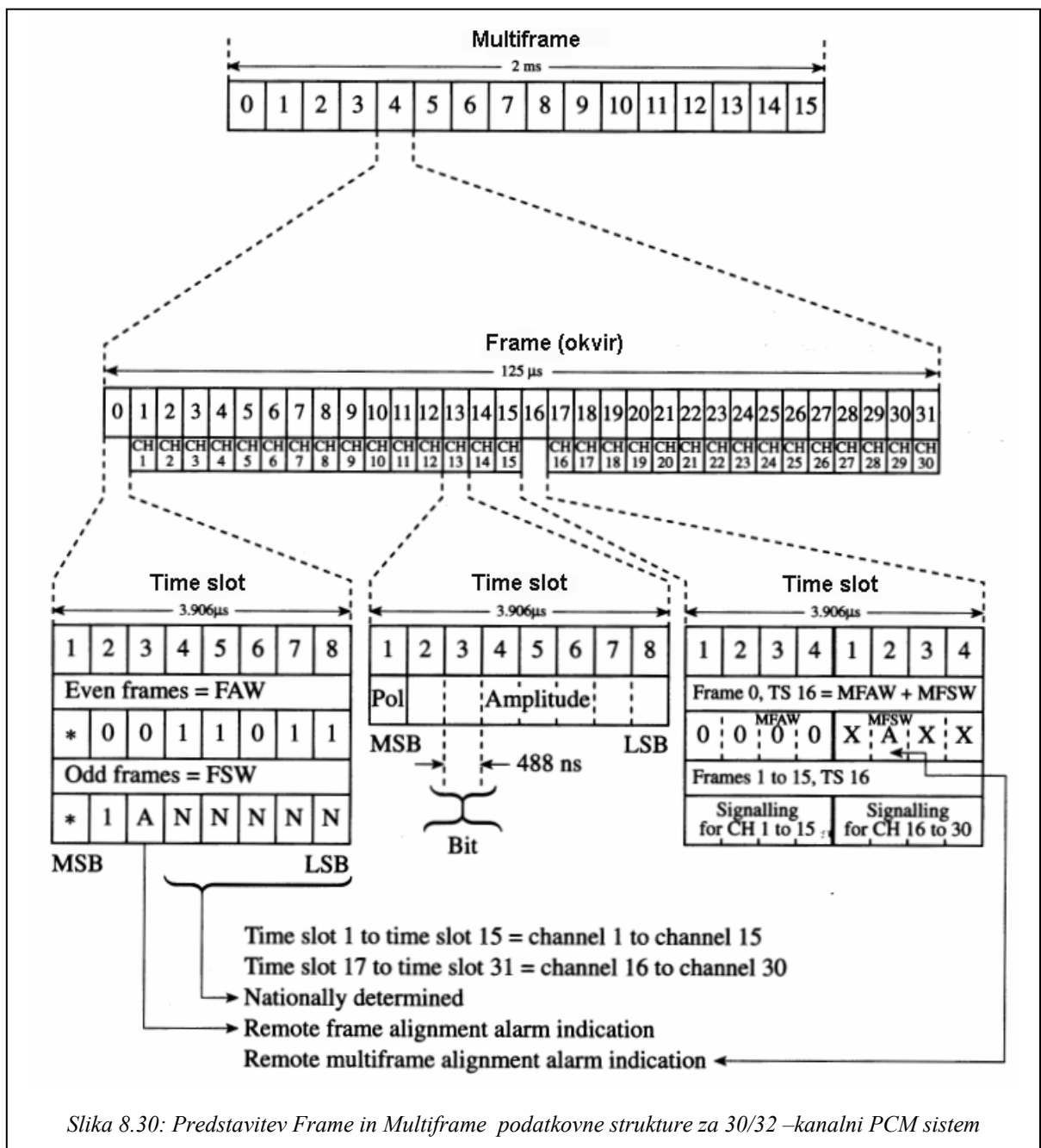
Trajanje enega frame-a (frame duration) .....  $f_d = 1/f_s$  (125 $\mu$ s)

Trajanje podatka za en kanal (time slot) =  $\text{trajanje enega framea} / \text{število kanalov v enem frame-u}$  (3.906 $\mu$ s)

Trajanje enega bita (bit duration) =  $\text{trajanje podatka za en kanal} / \text{število bitov v podatku}$  (488ns)

Trajanje multiframe-a =  $\text{trajanje enega frame-a} \times \text{število frame-ov v multiframe-u}$  (2ms)

Hitrost linijskega prenosa =  $1/\text{čas trajanja enega bita}$  (2.048 Mb/s)



Slika 8.30: Predstavitev Frame in Multiframe podatkovne strukture za 30/32 –kanalni PCM sistem

### 8.4.2 PDM, PFM in PPM MODULACIJE

Pulznoširinska (*PDM*, *PWM*) modulacija se uporablja najpogosteje za krmilni signal tranzistorjev pri stikalnih napajalnikih, regulatorjih moči pri enosmernih motorjih, pri daljinskem krmiljenju (radijsko vodenje). Glede na to jo bomo obravnavali v poglavju močnostne elektronike.

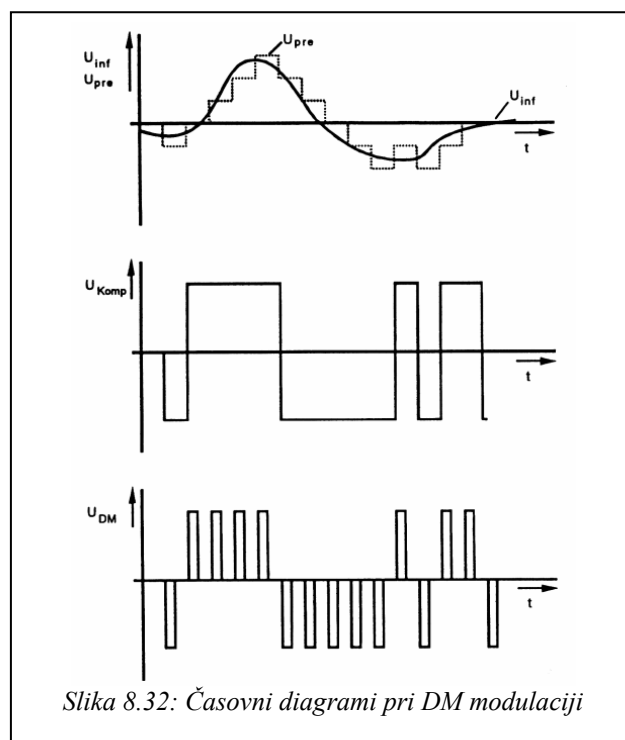
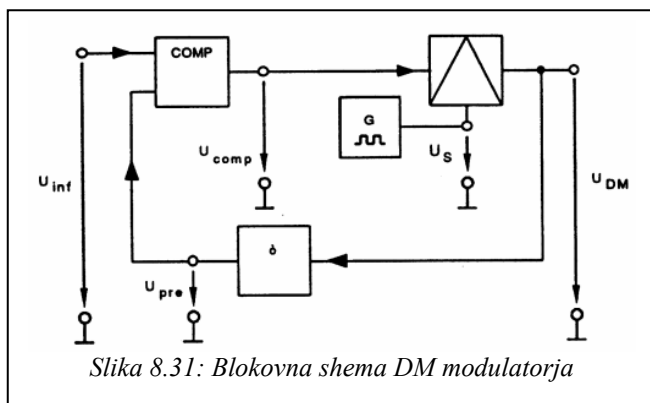
Za pulznofrekvenčno (*PFM*) modulacijo je značilno, da trajanje impulza ni odvisno od frekvence zato je integral napetostnih impulzov linearna funkcija. Zaradi tega to modulacijo pogosto srečamo v »taho« generatorjih, inkrementalnih dajalnikih, frekvenčnih demodulatorjih, analognih merilnikih vrtljajev in podobnih napravah.

Pri pulzno pozicijski (*PPM*) modulaciji se frekvenca normalno ne spreminja. V odvisnosti od vhodnega signala se spreminja lega impulza glede na položaj pri nosilni frekvenci. Obraten postopek se dogaja npr. pri faznem primerjalniku v PLL vezju.

### 8.4.3 DELTA MODULACIJA

Za DM modulacijo je značilno, da se modulira samo sprememba napetosti analognega signala. Glede na trend (naraščanje oz. upadanje) modulator generira številčno sorazmerne pozitivne oz. negativne impulze. V bistvu delta modulacija uporablja v primerjavi s PCM samo 1-bitno kodiranje.

Modulator sproti generira t.i. napovedno napetost  $U_{pre}$ , ki jo primerjalnik primerja z vhodno. V primeru, da je vhodna napetost višja od napovedne se na izhodu v moduliranem signalu pojavijo pozitivni impulzi in negativni v obratnem slučaju. V primeru prevelike spremembe vhodne napetosti se pojavi **preobremenitveni šum**, ki vnaša popačenje.



## 8.5 DEMODULATORJI

Demodulatorji so elektronska vezja, ki iz moduliranega signala rekonstruirajo originalen-modulirajoči signal. Večinoma pripada vsaki modulaciji več načinov kako demodulirati signal. Zaradi obširnosti poglavja bomo značilnejše postopke demodulacij obravnavali v okviru vaj.