



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA EKONOMSKE  
ODNOSE IN RAZVOJ

»Financirano s strani Evropske unije, Phare Program«  
»Financed by the European Union, Phare Programme«  
Št. programa: ZZ-9621.04.02.0001  
Št. Projekta: SPF 96-05



**SPOŠTOVANI !**

RADIO-TV KLUB M.Sobota S59DBC – S53M si je preko javnega razpisa financiranja iz programa PHARE 2000 pridobil sredstva za izvajanje projekta »DIGITALNI MOSTOVI – HITRI PACKET RADIO«. V samem izvajanju projekta je poleg vseh aktivnosti planiran tudi seminar s področja digitalnih komunikacij in tehnična delavnica.

**Zato vas vabimo, da se udeležite enodnevnega seminarja,  
ki bo 10. junija 2000 ( v soboto)  
V Murski Soboti, Cankarjeva 75  
( Gasilski dom M.Sobota – velika dvorana)  
s pričetkom ob 10.00 uri.**

**Na seminarju bodo predavanja iz področja:**

- I. Digitalnih komunikacij** : protokoli prenosov, koncepcije digitalnih vozlišč v svetu in EU, koncepcija slovenskih hitrih SUPER-VOZLJEV in izboljšave
- II. Radijske postaje za hitre prenose** : modulacije in zahteve radijskih postaj za hitre prenose, koncepcija radijskih postaj za hitre prenose, antenski sistemi in projektiranje radijskih tras

*Predavanja bodo izvajali* : Dr. Matjaž Vidmar, S53MV, Iztok SAJE, univ.dipl.inž. S52D, mag. Robert VILHAR, S53WW, Marko KOVAČEVIČ, univ.dipl.inž. S57MMK.

*Seminar se bo zaključil okrog 16.00 ure.*

*Na seminarju bodo prikazane tudi nekatere novitete s področja  
»HITRIH PACKET RADIO« komunikacij.  
Med odmorom bo organizator zagotovil skromno malico.*

**Lep pozdrav**

**73!**

M.Sobota 24.05.2000



**RADIO-TV KLUB M.SOBOTA  
S59DBC - S53M**

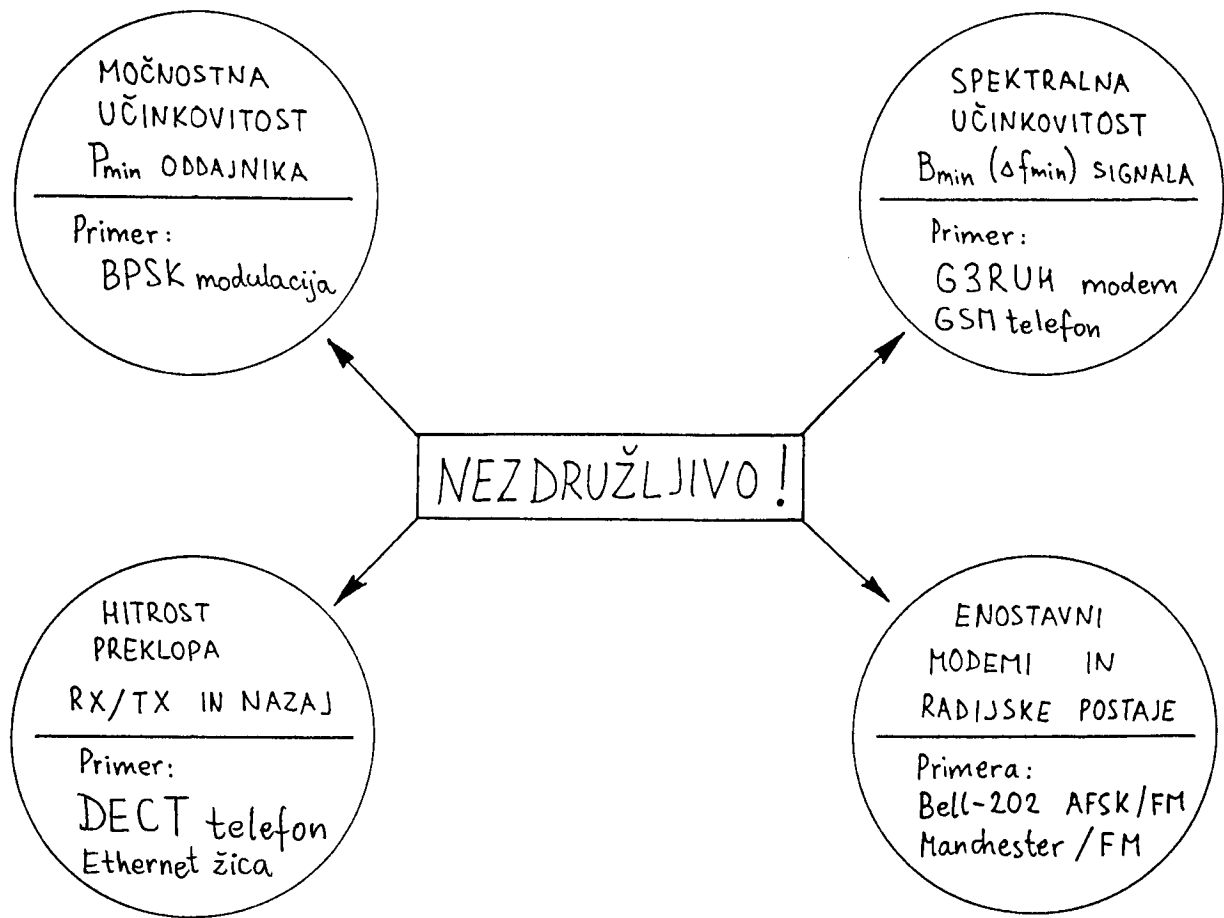
Seznam prosojnic predavanja: IZBIRA MODULACIJE ZA PACKET RADIO

=====

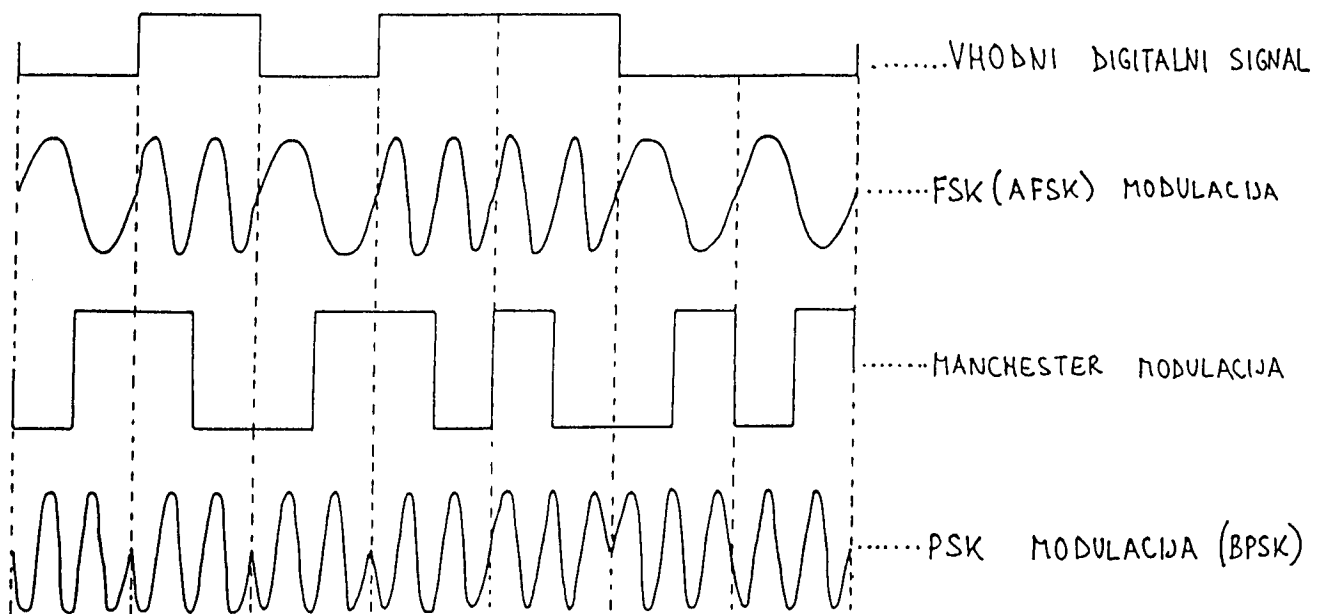
Matjaž Vidmar, S53MV

- Slika 1 - Nezdržljive zahteve za modulacijo.
- Slika 2 - Običajne vrste modulacij za amaterski packet radio.
- Slika 3 - Informacija in zmogljivost resnične zveze.
- Slika 4 - Neučinkovitosti in tehnične težave pri enostavni preslikavi spektra signala.
- Slika 5 - Zahteve za kodiranje in modulacijo v resnični radijski zvezi.
- Slika 6 - Spektralna in močnostna učinkovitost.
- Slika 7 - Spektralna učinkovitost treh primerov digitalnih radijskih komunikacij.
- Slika 8 - Analogna amplitudna modulacija.
- Slika 9 - Analogna frekvenčna modulacija.
- Slika 10 - Neposredna številka (digitalna) modulacija nosilca.
- Slika 11 - Kazalci signala, šuma in motenj.
- Slika 12 - Najbolj pogoste izbire lege kazalcev.
- Slika 13 - Številski (digitalni) oddajnik.
- Slika 14 - Koherentni številski (digitalni) sprejemnik.
- Slika 15 - Pogostnost napak v številski (digitalni) zvezi.
- Slika 16 - Frekvenčni spekter PSK (BPSK, QPSK) oddaje.
- Slika 17 - Frekvenčni spekter FSK oddaje.
- Slika 18 - Postopki oblikovanja ovojnice in spektra QPSK.
- Slika 19 - Popravljanje napak z zaščitnim kodiranjem v radijski zvezi.
- Slika 20 - Običajno dvostopenjsko zaščitno kodiranje v radijski zvezi.
- Slika 21 - Pogostnost napak pri nekodiranem in kodiranem prenosu.
- Slika 22 - Radijska zveza z razpršenim spektrom (spread spectrum).
- Slika 23 - BPSK oddajnik z neposredno modulacijo.
- Slika 24 - BPSK sprejemnik s kvadriranjem signala.
- Slika 25 - BPSK sprejemnik s Costas-ovo zanko.
- Slika 26 - 1.2Mbit/s, 10MHz BPSK demodulator.
- Slika 27 - Sprejemnik z ničelno medfrekvenco.
- Slika 28 - Sukanje faze kazalca.
- Slika 29 - Sukanje kazalca s štirimi množilniki (mešalniki).
- Slika 30 - Sukanje kazalca z vrtečimi stikali.
- Slika 31 - Costas-ova zanka za ničelno medfrekvenco.
- Slika 32 - Costas-ova zanka s številskim VCOjem.
- Slika 33 - Costas-ov I/Q BPSK demodulator.
- Slika 34 - Izmerjena pogostnost napak ZIF-BPSK sprejemnika.
- Slika 35 - Občutljivost BPSK sprejemnika.
- Slika 36 - Domet PSK zveze v praznem prostoru.

\*\*\*\*\*



Slika 1 - Nezdržljive zahteve za modulacijo.



Slika 2 - Običajne vrste modulacij za amaterski packet radio.

Informacija:

$$(1) \quad I = \frac{1}{2} \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{W_s}{W_N} \right) \quad [\text{Shannon}]$$

$I \equiv$  informacija (v bitih, ko je osnova logaritma 2)

$W_s \equiv$  energija signala ;  $W_N \equiv$  energija šuma

Zmogljivost:

$$(2) \quad C = \frac{dI}{dt} = \Delta f \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_s}{P_N} \right)$$

$$(3) \quad C = \Delta f \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_s}{\Delta f \cdot k_B \cdot T} \right)$$

$$C = \frac{dI}{dt} \equiv \text{zmogljivost (v bitih / sek)}$$

$\Delta f \equiv$  frekvenčna pasovna širina

$P_s \equiv$  moč signala ;  $P_N \equiv$  moč šuma

$$(4) \quad P_N = \Delta f \cdot k_B \cdot T$$

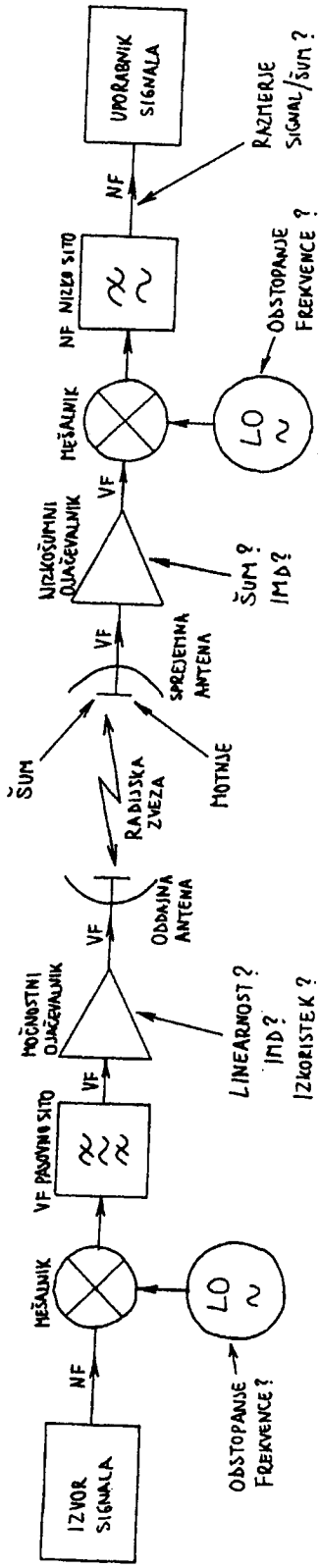
$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \equiv$  Boltzmann-ova konstanta

$T =$  šumna temperatura sprejemnega sistema

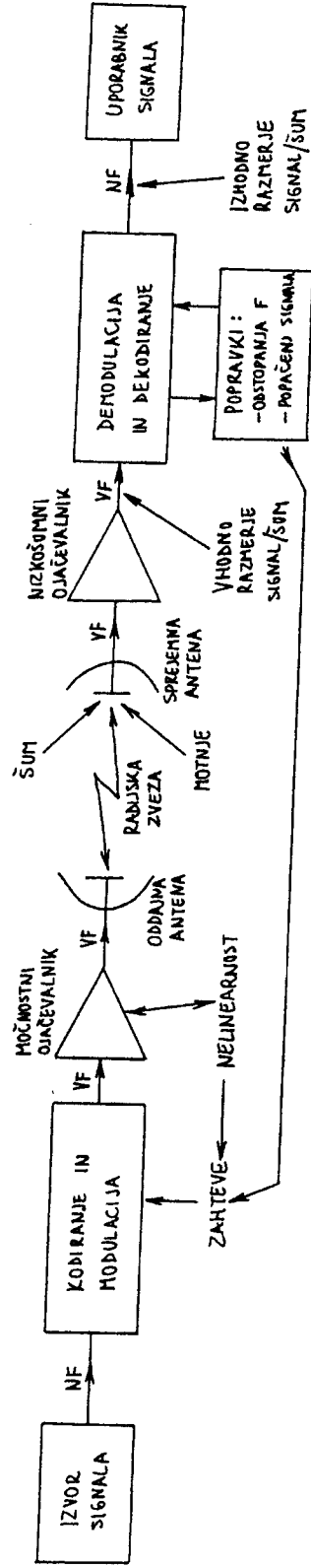
Gornja meja zmogljivosti:

$$\lim_{\Delta f \rightarrow \infty} C = \frac{1}{\ln 2} \cdot \frac{P_s}{k_B \cdot T} \approx 1.4427 \cdot \frac{P_s}{k_B \cdot T}$$

Slika 3 - Informacija in zmogljivost resnične zveze.



Slika 4 - Neučinkovitosti in tehnične težave pri enostavni preslikavi spektra signala.



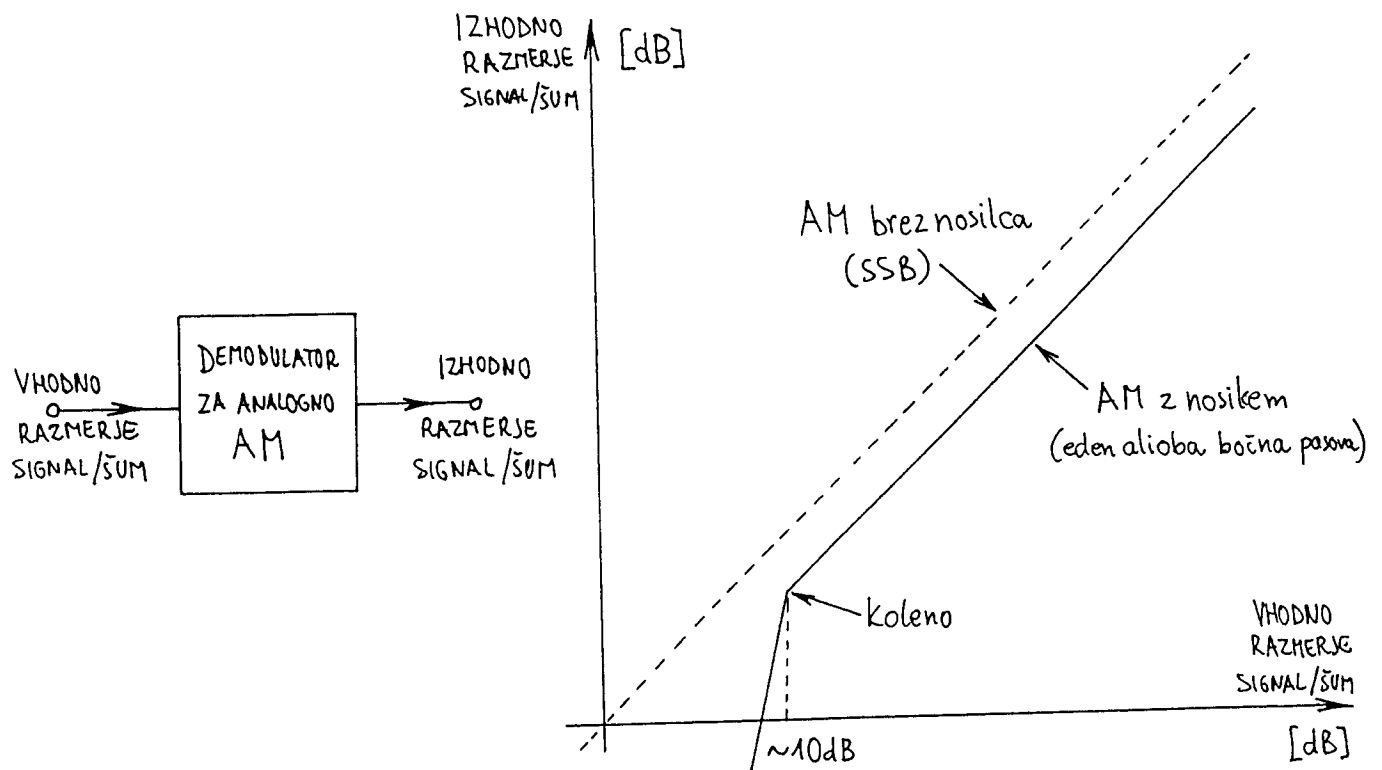
Slika 5 - Zahteve za kodiranje in modulacijo v resnični radijski zvezi.

SPEKTRALNO UČINKOVITA MODULACIJA IN KODIRANJE	MOČNOSTNO UČINKOVITA MODULACIJA IN KODIRANJE
MAKSIMUM $\frac{C}{\Delta f}$ [bps/Hz] $\Delta f \rightarrow 0$ ; $P_s \rightarrow \infty$	MINIMUM $P_s$ [W] $P_s \rightarrow 0$ ; $\Delta f \rightarrow \infty$
PRAKTIČNA OMEJITEV ZARADI: POPAČENJA, OMEJITEV $P_s$ $\frac{C}{\Delta f} < 10 \text{ bps/Hz}$	STROGA OMEJITEV PRI $\Delta f \rightarrow \infty$ $P_s > C k_B T \ln 2$
<u>SLABE STRANI:</u> - VISOKA MOČ ODDAJNIKA - VISOKA LINEARNOST (SLAB IZKORISTEK) IZHODNE STOPNJE ODDAJNIKA - OBČUTLJIVOST NA POPAČENJA (ODBITI VALOVI, RAZŠIRJANJE PO VEČ POTEH) - OBČUTLJIVOST NA MOTNJE (PONOVNA UPORABA KANALA?)	<u>SLABE STRANI:</u> - ŠIROK FREKVENČNI SPEKTER

Slika 6 - Spektralna in močnostna učinkovitost.

VRSTA PRENOSA	ZMOGLJIVOST C	ŠIRINA SPEKTRA $\Delta f$	SPEKTRALNA UČINKOVITOST $C/\Delta f$
TELEGRAFIJA Z ROČNO ODDAJO IN SPREJEMOM NA SLUH (120 ČRK V MINUTI)	10bps	500Hz	0.020 bps/Hz
STROJNA TELEGRAFIJA RADIOTELEPRINTER (FSK/170Hz)	50bps	300Hz	0.167 bps/Hz
GSM TELEFON GMSK (OQPSK)	271kbps	200kHz	1.355 bps/Hz

Slika 7 - Spektralna učinkovitost treh primerov digitalnih radijskih komunikacij.



### Zvrsti analogne AM:

- (1) oba bočna pasova + nosilec (DV, SV, KV radiodifuzija)
  - slab izkoristek moči oddajnika
  - zmerne zahteve za linearnost oddajnika
  - dvojni frekvenčni pas  $\Delta f = 2f_m$
- (2) en bočni pas + nosilec (zemeljska TV)
  - slab izkoristek moči oddajnika
  - zelo stroge zahteve za linearnost oddajnika
- (3) en bočni pas brez nosilca (KV SSB govorne zreze)
  - dober izkoristek moči oddajnika
  - zmerne zahteve za linearnost oddajnika
  - zelo stroge zahteve za točnost frekvence

### Spektralna in močnostna učinkovitost analogne AM:

Zgled: zemeljska TV:  $\left. \begin{array}{l} 15625 \text{ vrstic/s} \\ 600 \text{ pikselov/vrstica} \\ 8 \text{ bitov/piksel} \end{array} \right\} C = 75 \text{ Mbps}$

$$\Delta f = 7 \text{ MHz} \longrightarrow \frac{C}{\Delta f} = 10.7 \text{ bps/Hz}$$

$$S/N_{\text{IZHOD}} = 48 \text{ dB} \longrightarrow S/N_{\text{VHOD}} = 55 \text{ dB}, T = 1000 \text{ K} \longrightarrow P_s = -45 \text{ dBm} \left( 1.5 \text{ mV}/75 \Omega \right)$$

Slika 8 - Analogna amplitudna modulacija.

## FM oddajnik:

- nizke zahteve za linearnost
- visok izkoristek izhodne stopnje



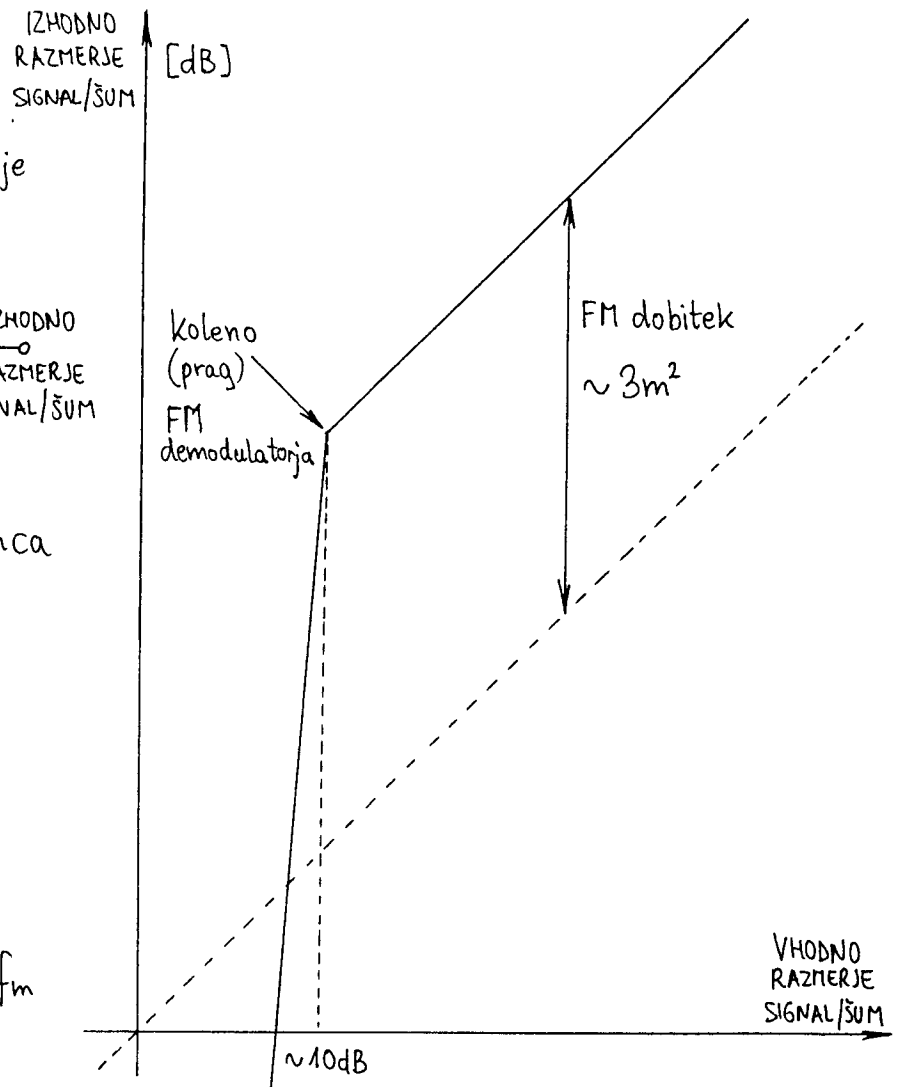
$f_m \equiv$  modulacijska frekvenca

$f_d \equiv$  deviacija (+/-)

modulacijski indeks:  $m = \frac{f_d}{f_m}$

frekvenčni pas: (Carson)  $\Delta f = 2f_d + 2f_m$

FM dobitek:  $S/N_{IZHOD} = S/N_{VHOD} \cdot 3m^2$



## Spektralna in močnostna učinkovitost analogne FM:

Zgled: satelitska TV:  $\left. \begin{array}{l} 15625 \text{ vrstic/s} \\ 600 \text{ pikselov/vrstica} \\ 6 \text{ bitov/piksel} \end{array} \right\} C = 56 \text{ Mbps}$

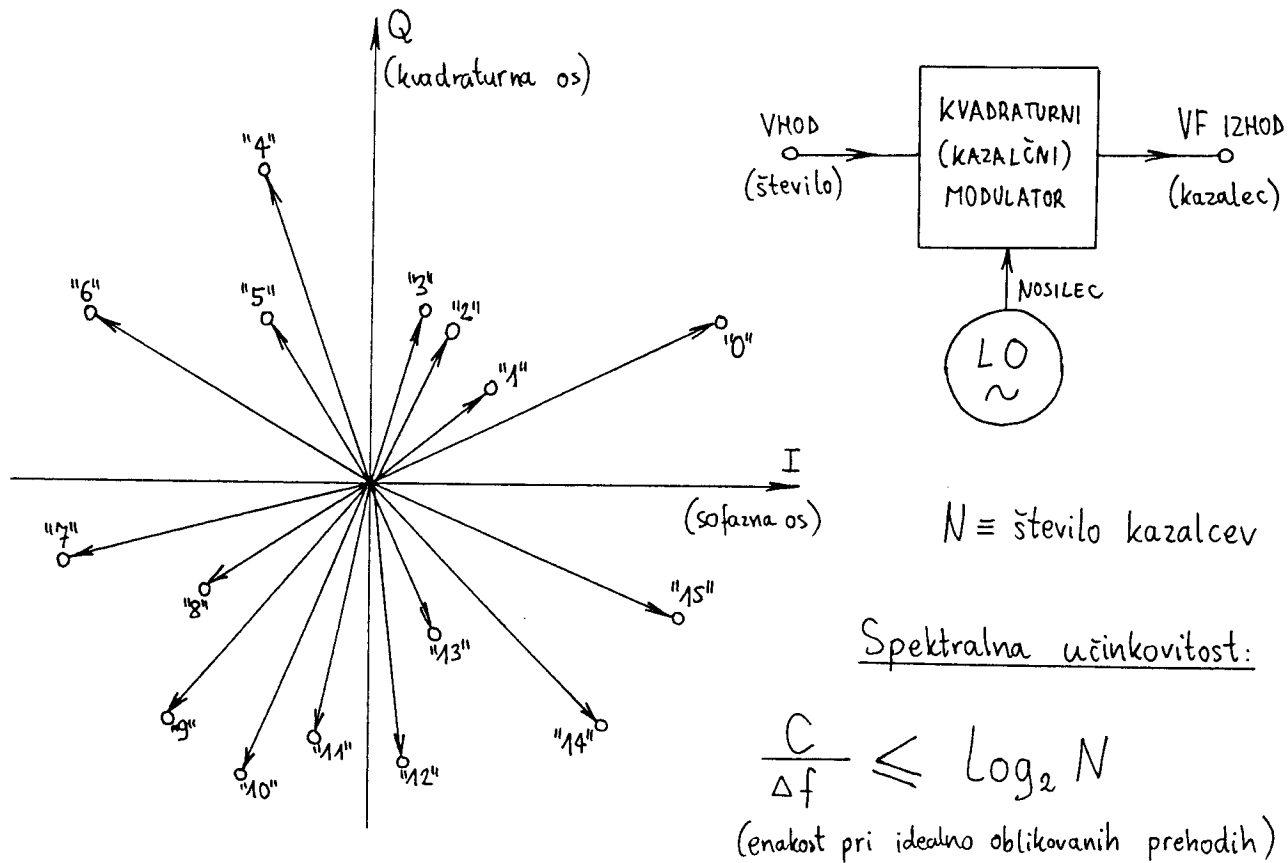
$f_m = 5 \text{ MHz}$ ;  $f_d = 15 \text{ MHz}$ ;  $m = 3 \rightarrow \Delta f = 40 \text{ MHz} \rightarrow \frac{C}{\Delta f} = 1.4 \text{ bps/Hz}$

$\left. \begin{array}{l} S/N_{IZHOD} = 36 \text{ dB} \\ 3m^2 = 27 = 14.5 \text{ dB} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} S/N_{VHOD} = 21.5 \text{ dB} \\ T = 150 \text{ K} \end{array} \right\} \rightarrow P_s = -79.3 \text{ dBm}$

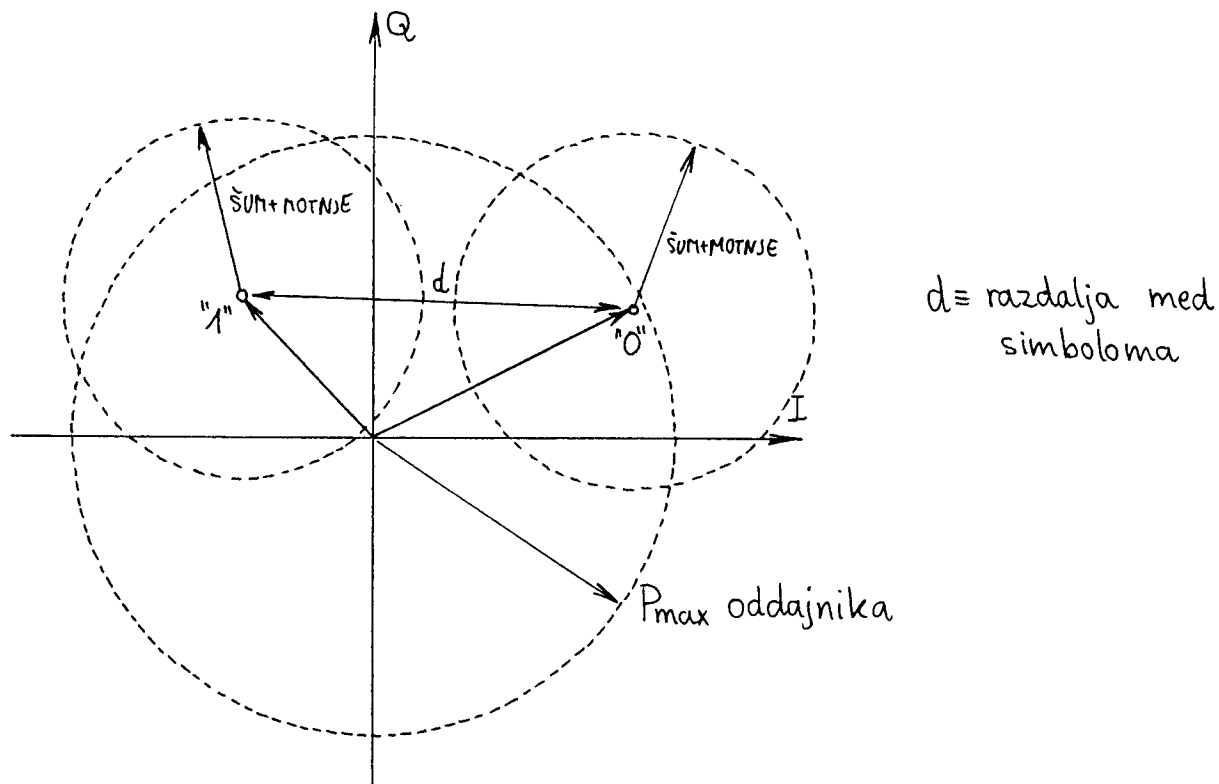
Slika 9 - Analogna frekvenčna modulacija.



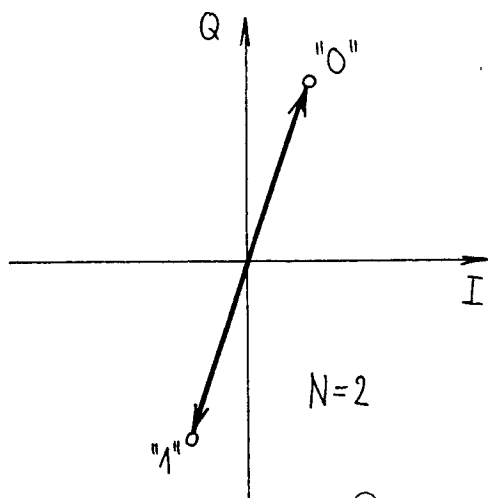
Ozko pasovni signal  $\longrightarrow$  predstavitev v kazalčnem diagramu!



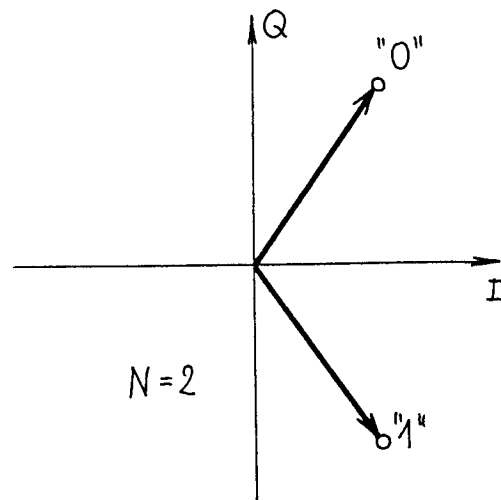
Slika 10 - Neposredna številska (digitalna) modulacija nosilca.



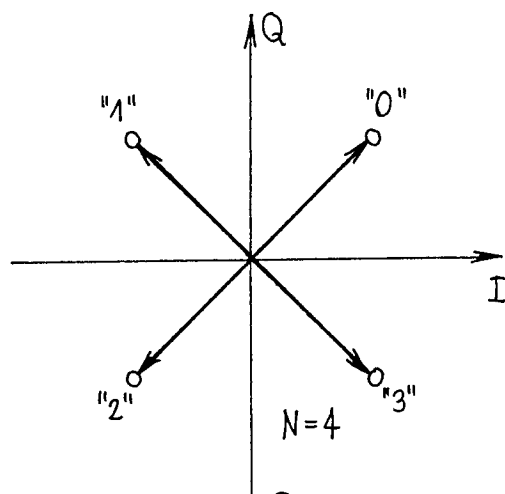
Slika 11 - Kazalci signala, šuma in motenj.



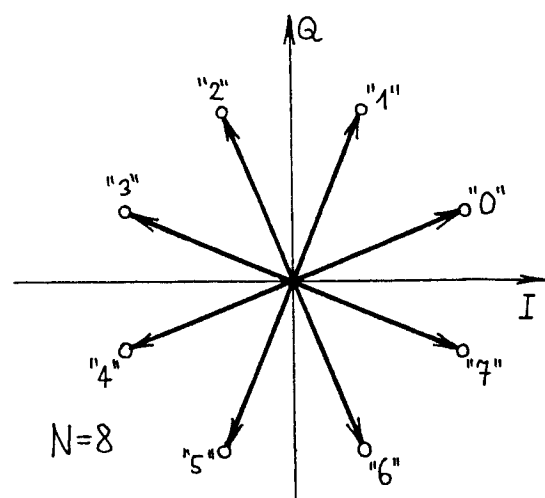
Simetrična BPSK:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 1 \text{ bps/Hz}$



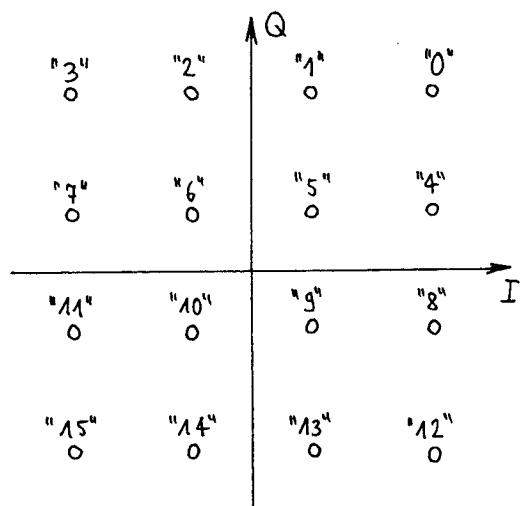
Nesimetrična BPSK:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 1 \text{ bps/Hz}$



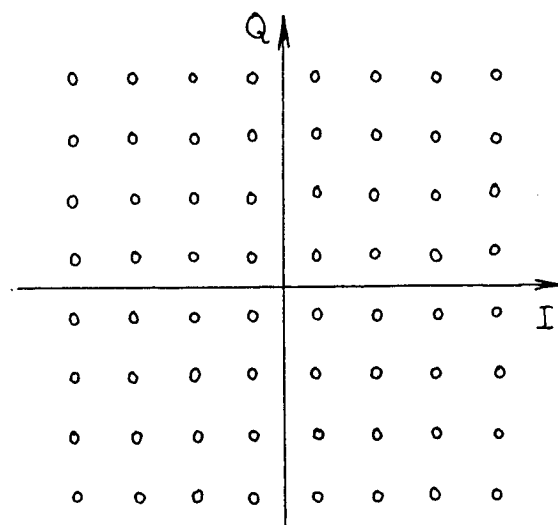
QPSK:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 2 \text{ bps/Hz}$



8-PSK:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 3 \text{ bps/Hz}$

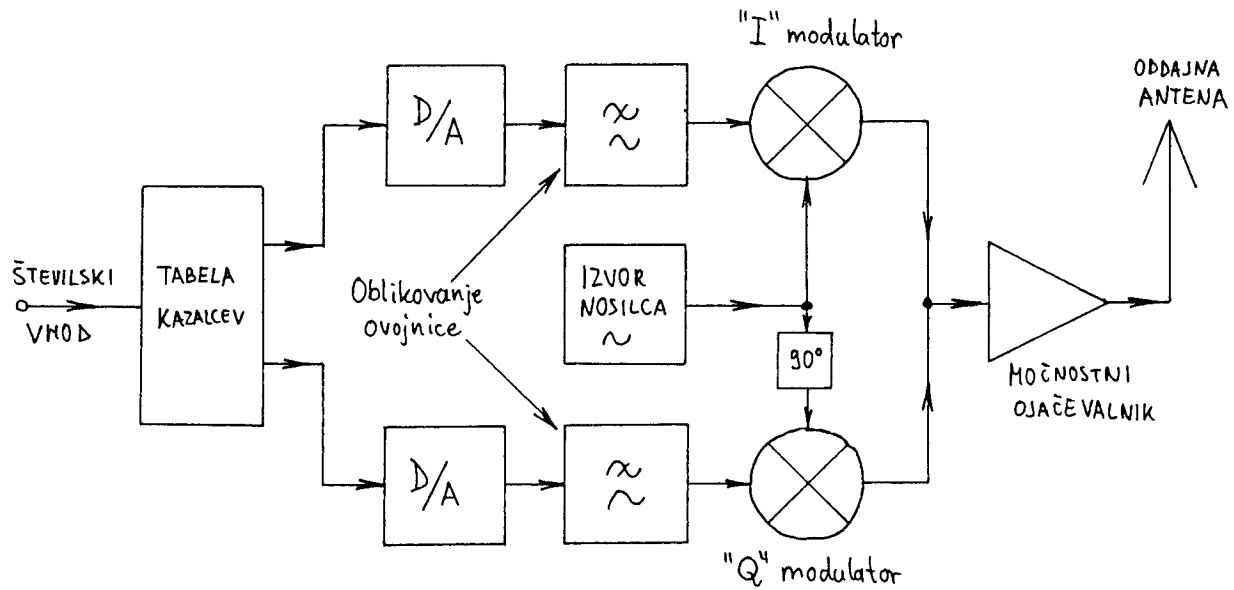


16-QAM:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 4 \text{ bps/Hz}$

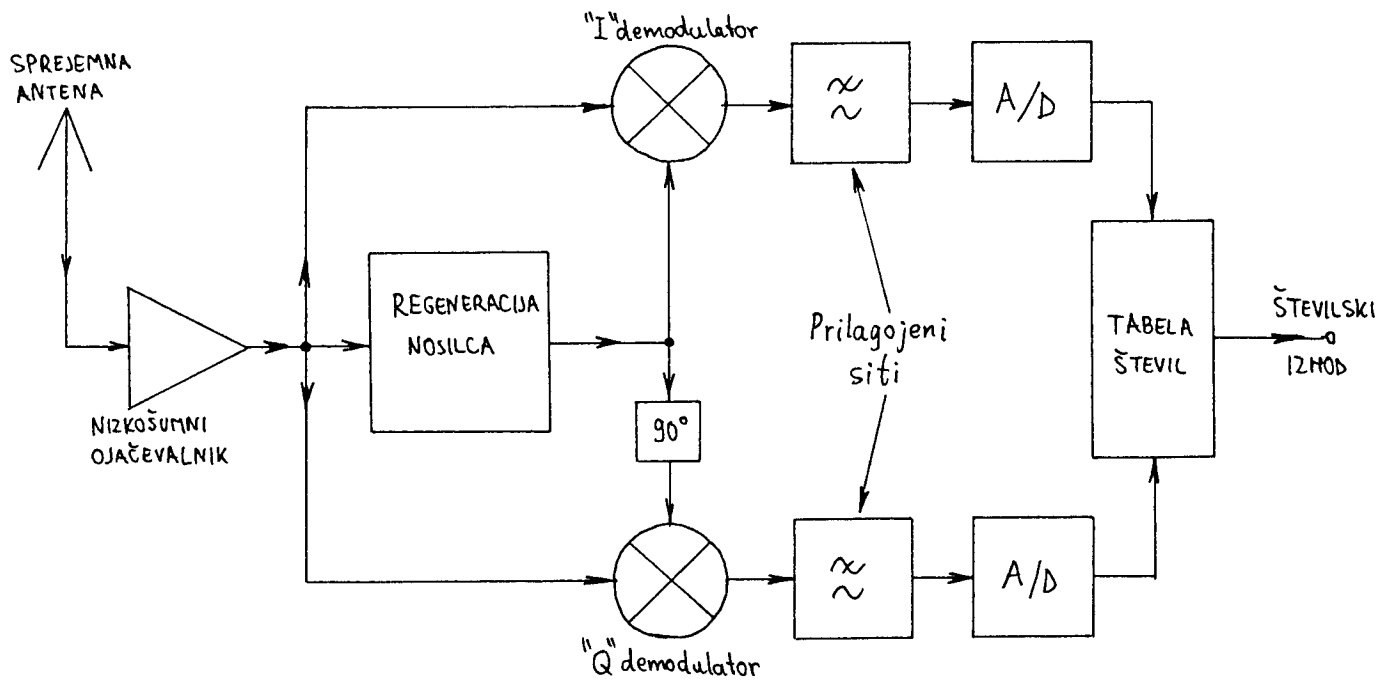


64-QAM:  $\frac{C}{\Delta f} \leq 6 \text{ bps/Hz}$

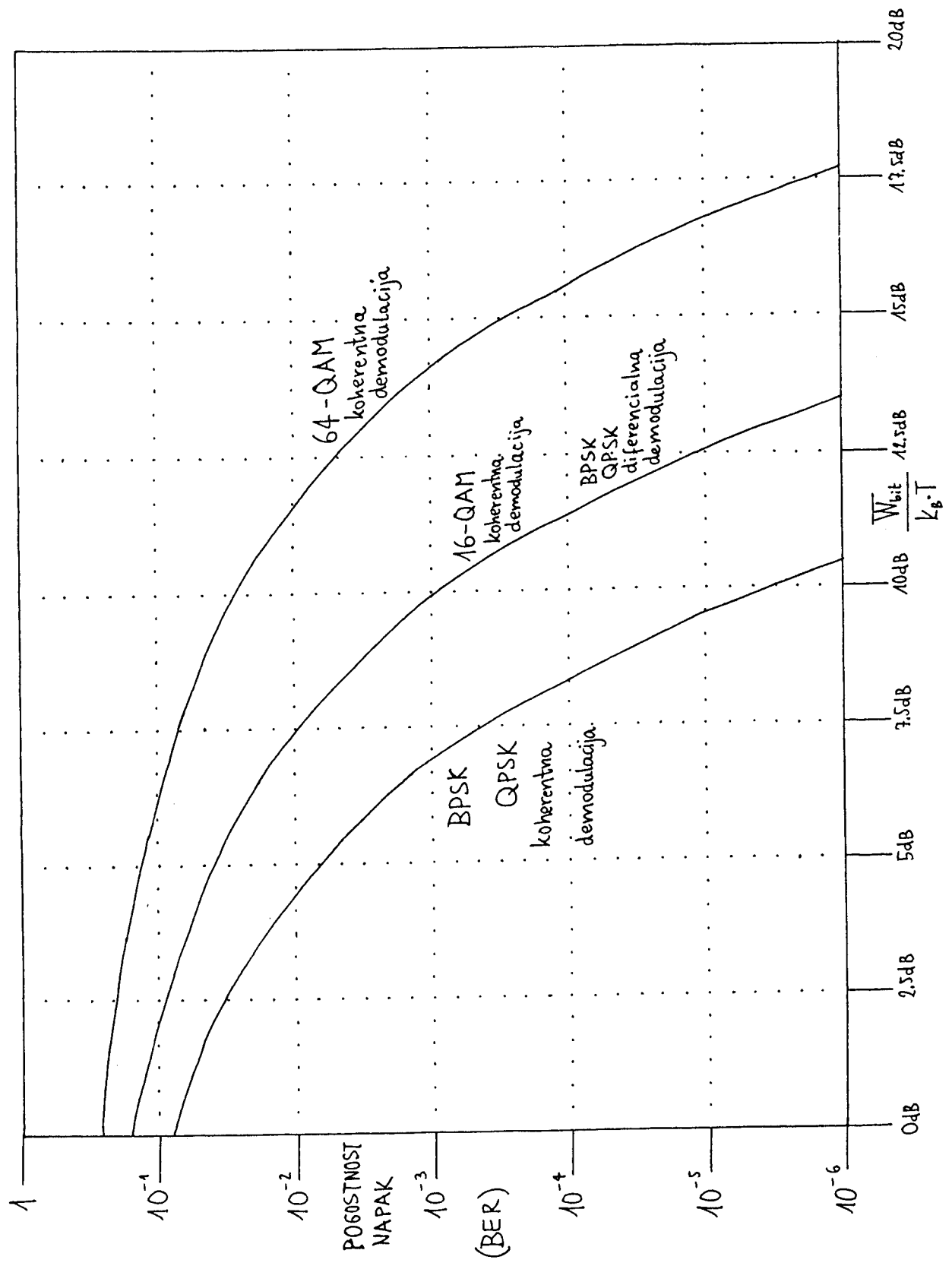
Slika 12 - Najbolj pogoste izbire lege kazalcev.



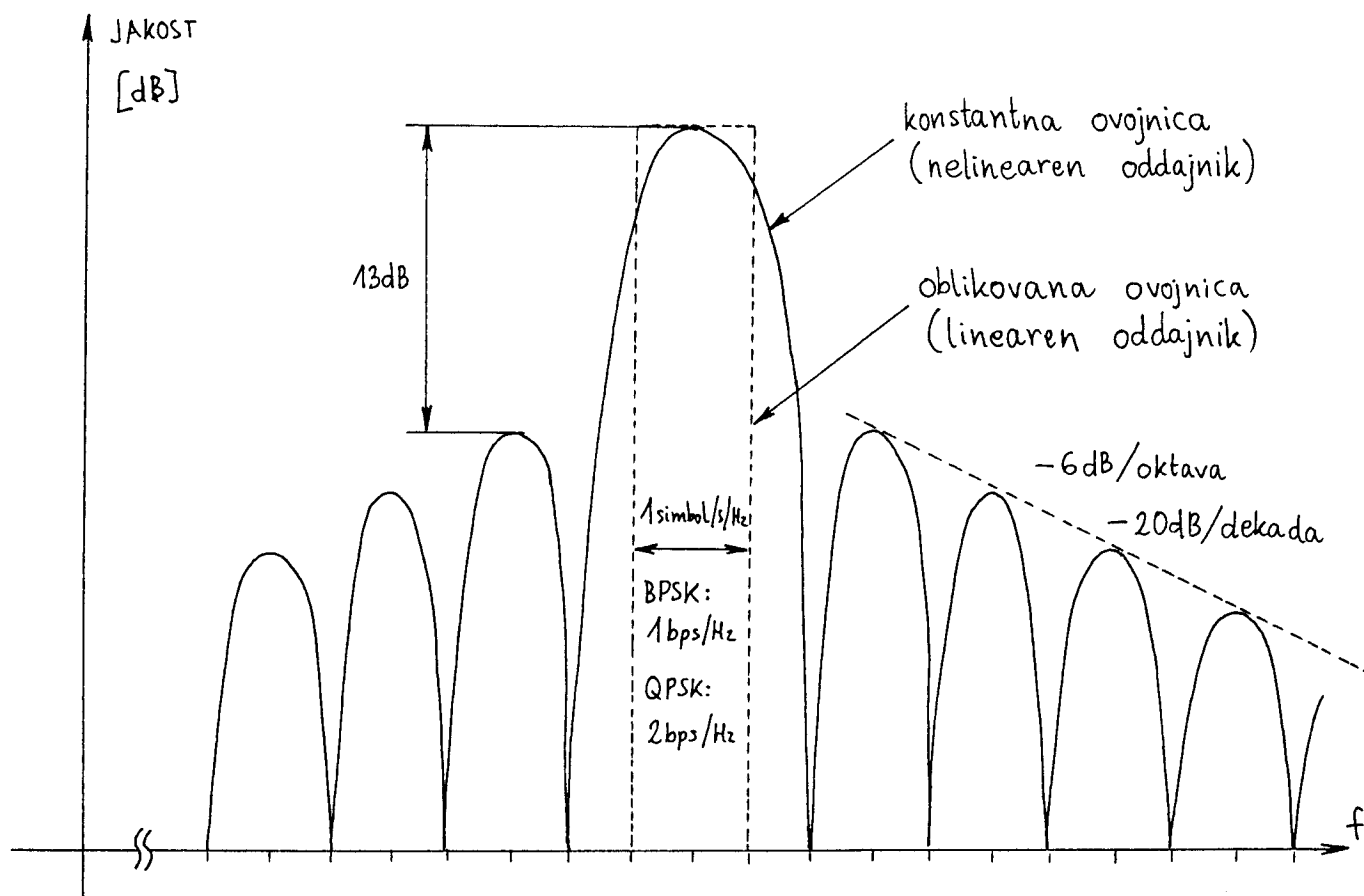
Slika 13 - Številski (digitalni) oddajnik.



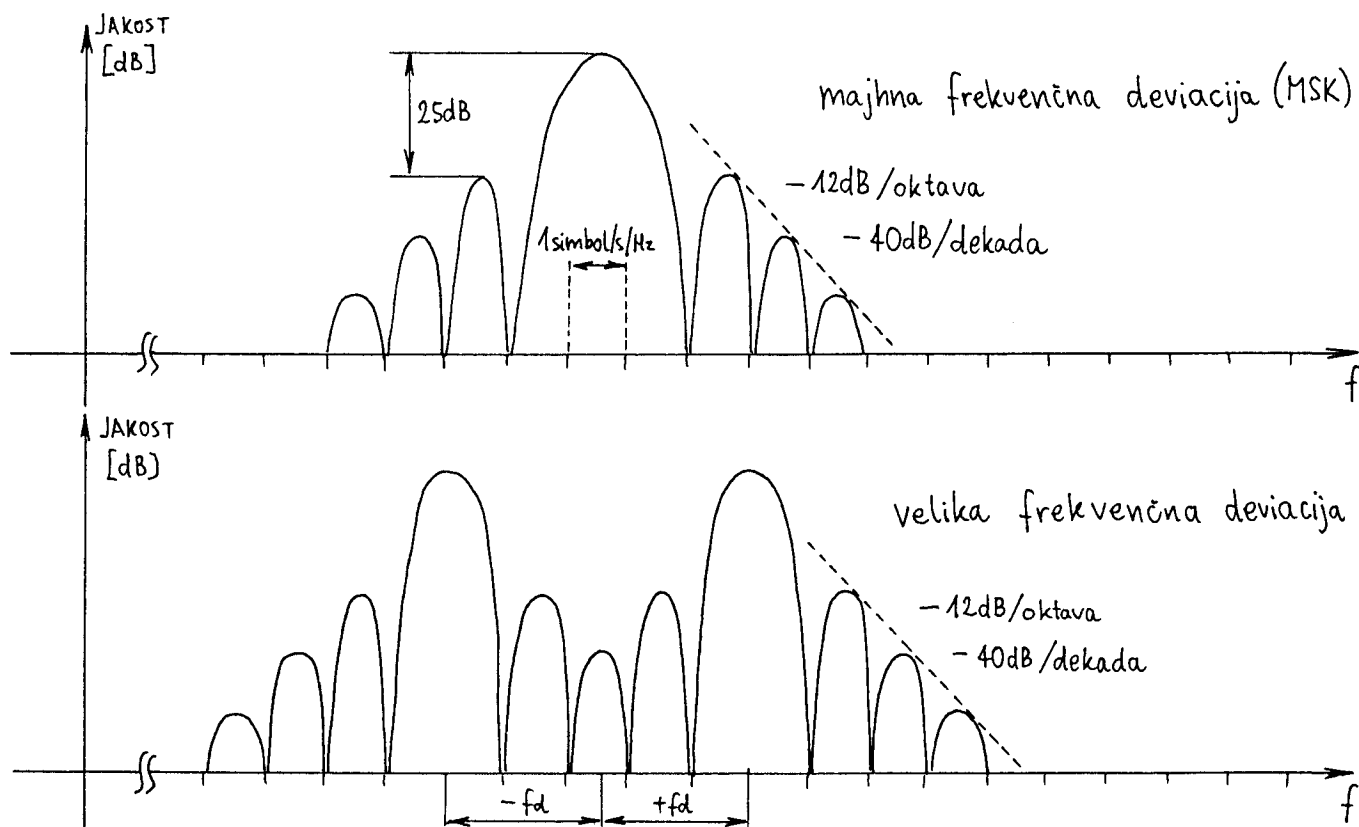
Slika 14 - Koherentni številski (digitalni) sprejemnik.



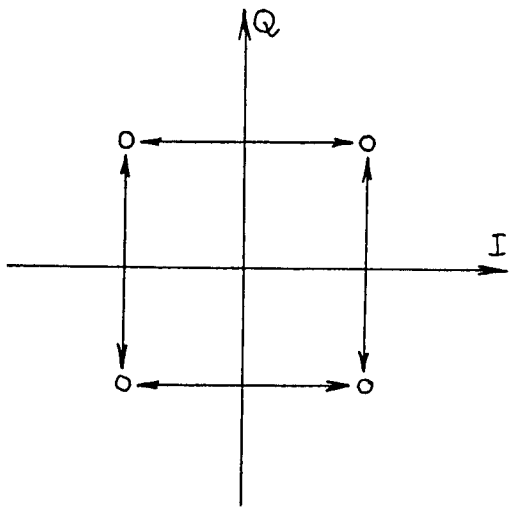
Slika 15 - Pogostnost napak v številski (digitalni) zvezi.



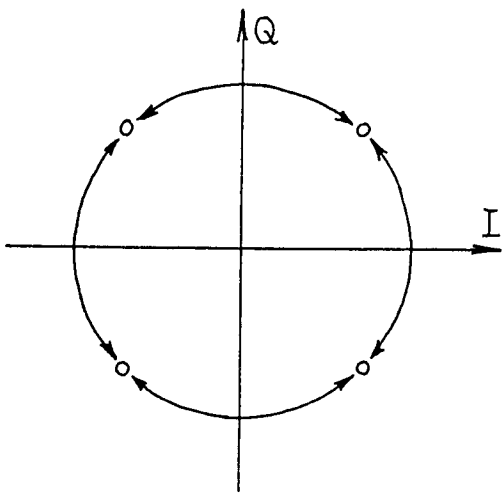
Slika 16 - Frekvenčni spekter PSK (BPSK, QPSK) oddaje.



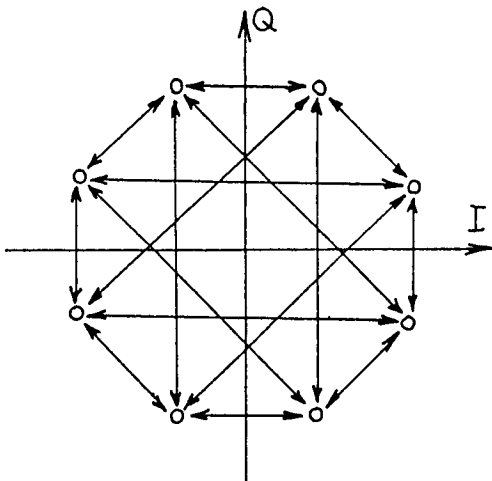
Slika 17 - Frekvenčni spekter FSK oddaje.



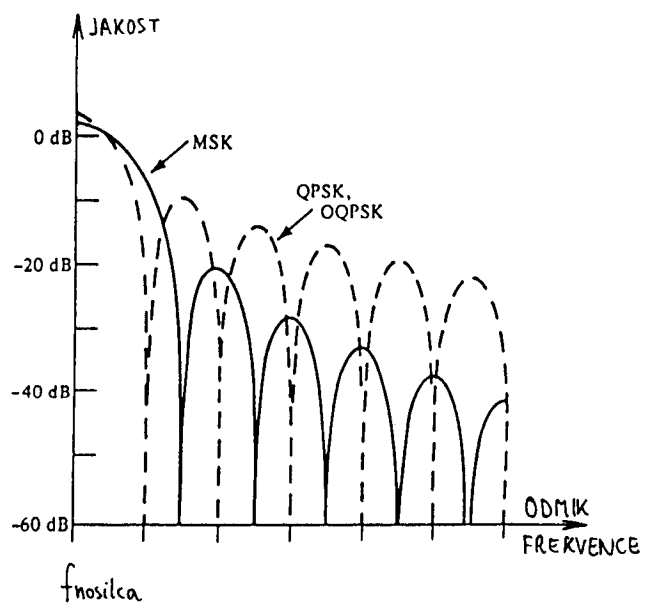
"Offset" - QPSK  
 O - QPSK  
 ← → dovoljeni prehodi



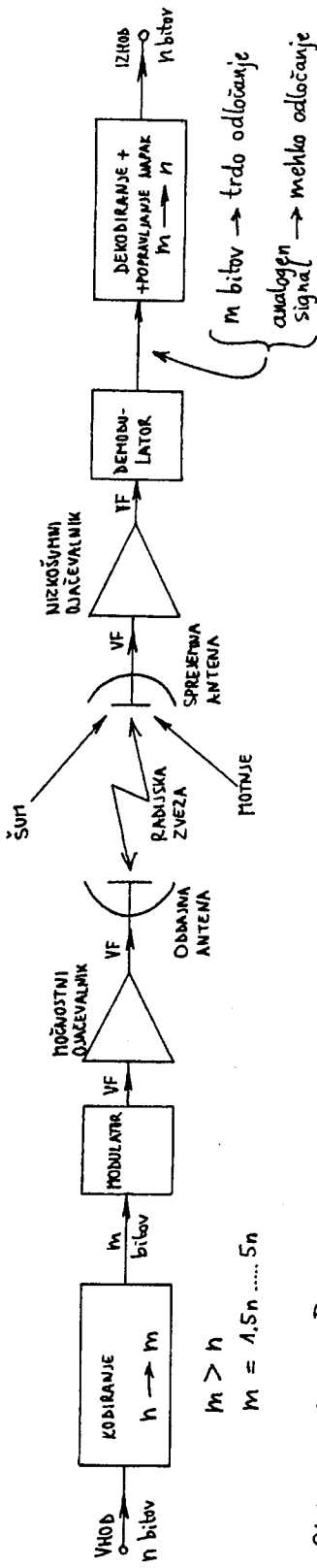
Minimum Shift Keying (MSK)  
 ← → dovoljeni zvezni prehodi  
 linearna sprememba faze



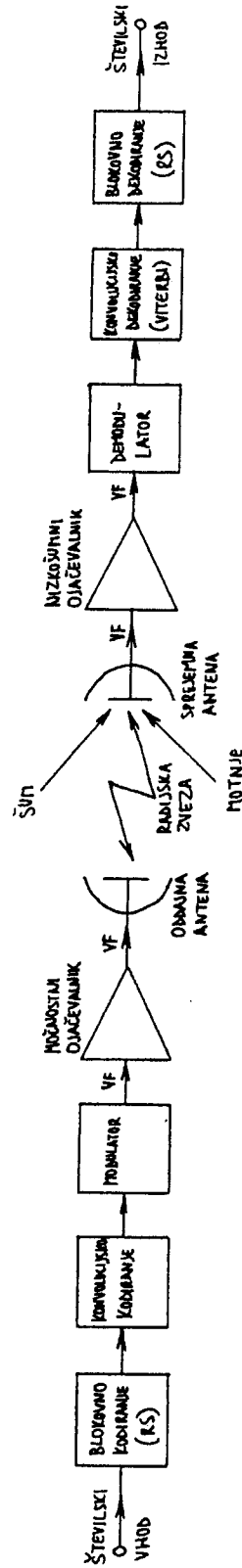
$\pi/4$  - QPSK



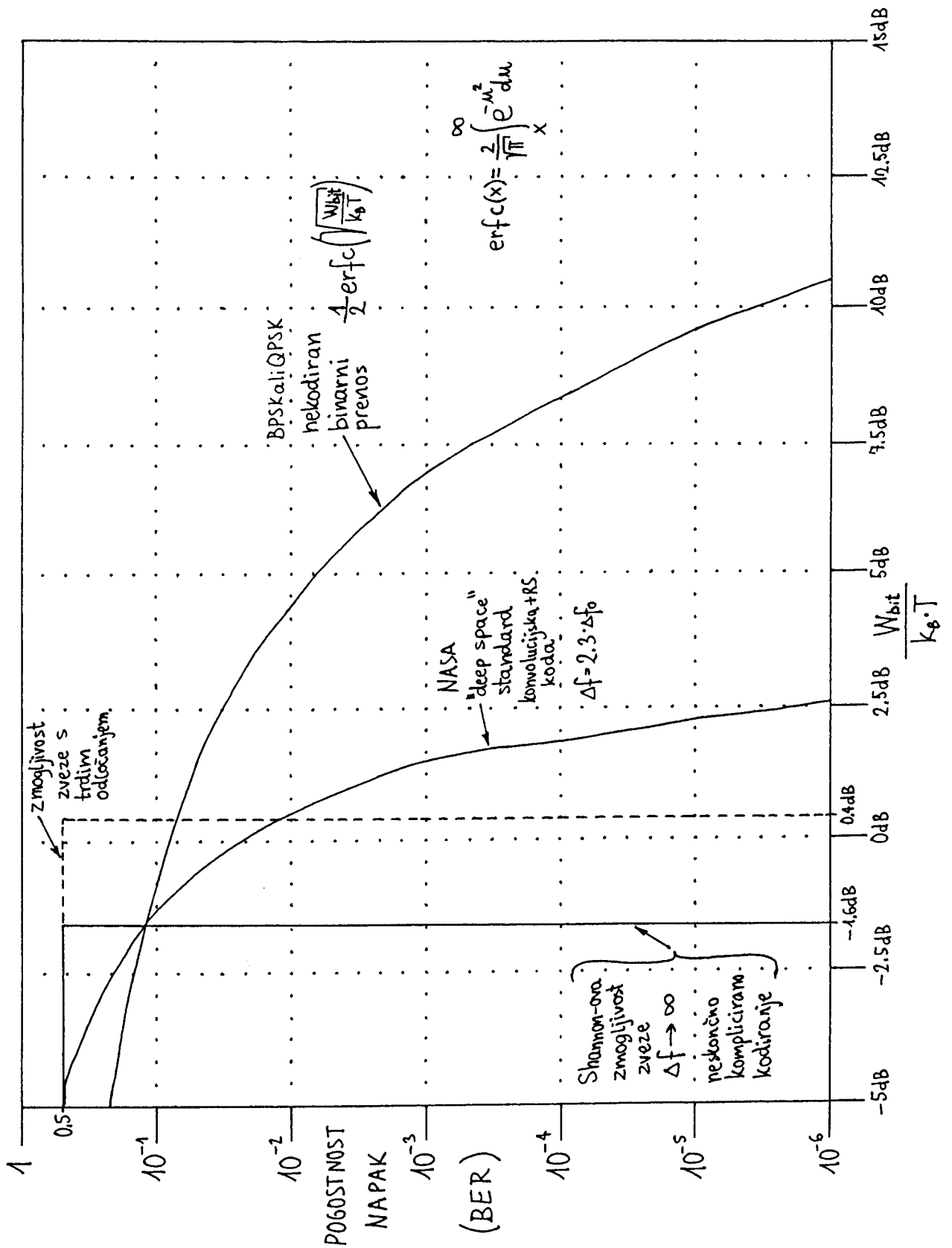
Slika 18 - Postopki oblikovanja ovojnice in spektra QPSK.



Slika 19 - Popravljane napak z zaščitnim kodiranjem v radijski zvezi.

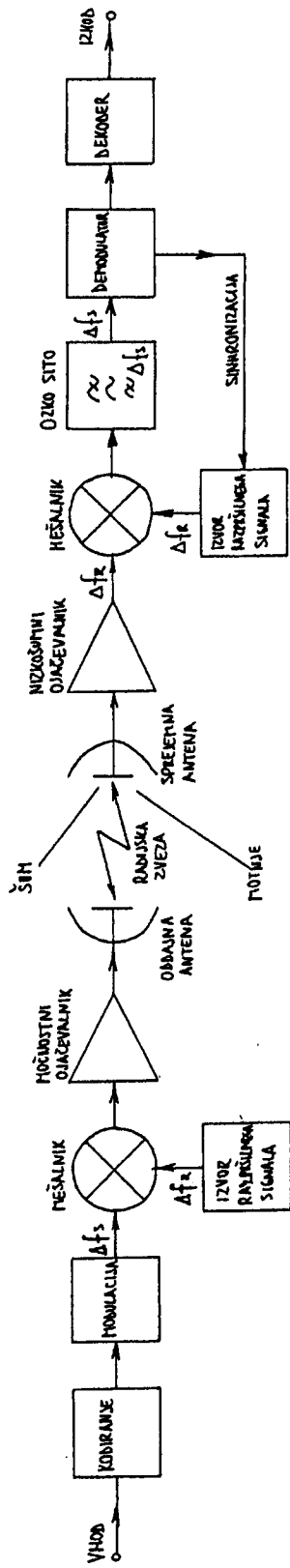


Slika 20 - Običajno dvostopenjsko zaščitno kodiranje v radijski zvezi.



Slika 21 - Pogostnost napak pri nekodiranem in kodiranem prenosu.



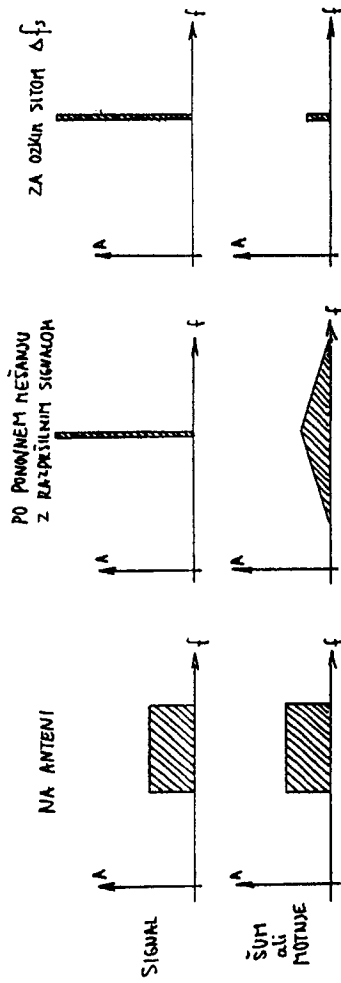


$$\Delta f_r \gg \Delta f_s$$

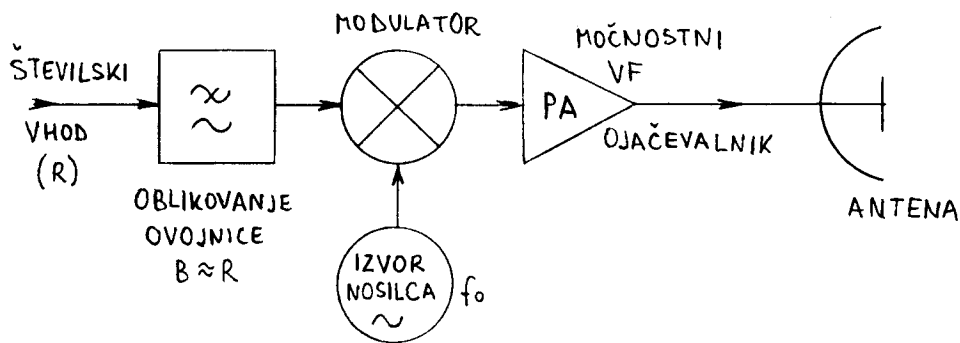
Celotni  $\Delta f = \Delta f_s + \Delta f_r \approx \Delta f_r$   
 Dobitek S/N v sprejemniku:  $\frac{\Delta f_r}{\Delta f_s}$

Kodni multipleks (CDMA):

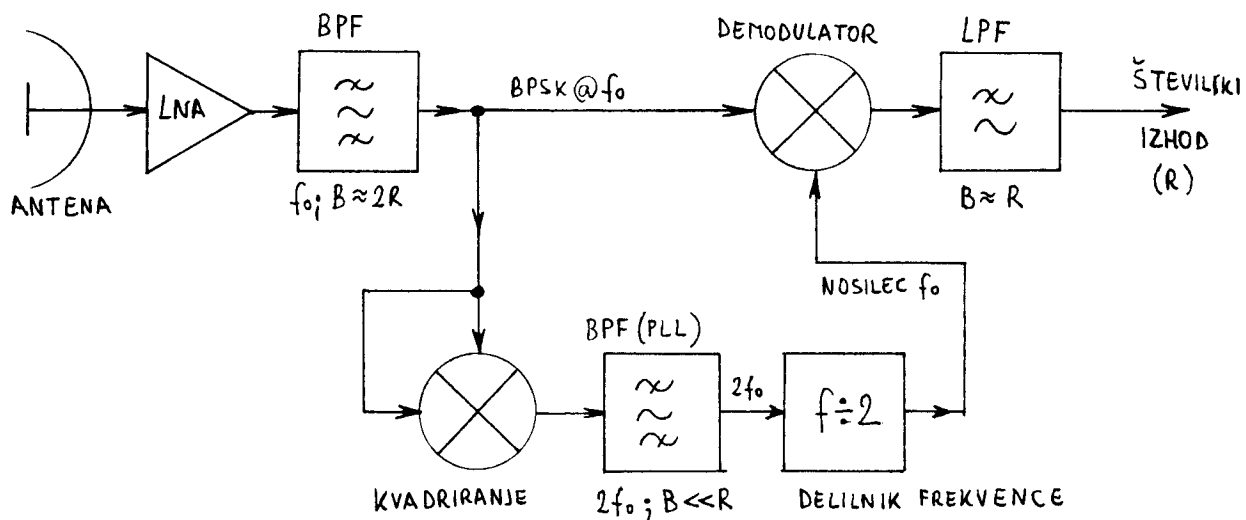
- vsi uporabniki v istem pasu  $\Delta f$
- različni (ortogonalni) razpršilni signali



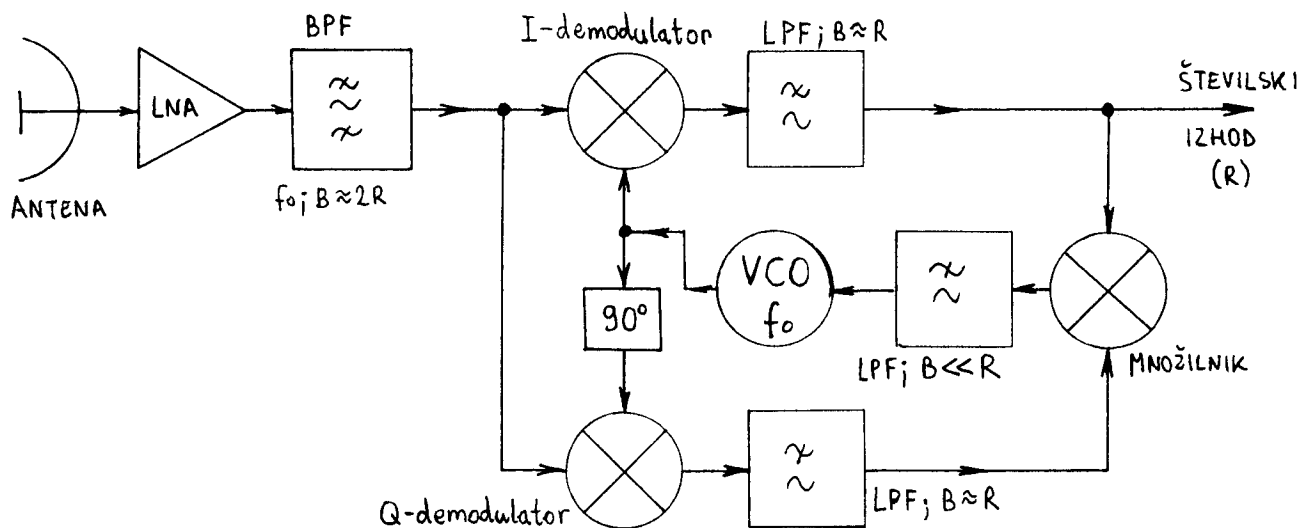
Slika 22 - Radijska zveza z razprševim spektrom (spread spectrum).



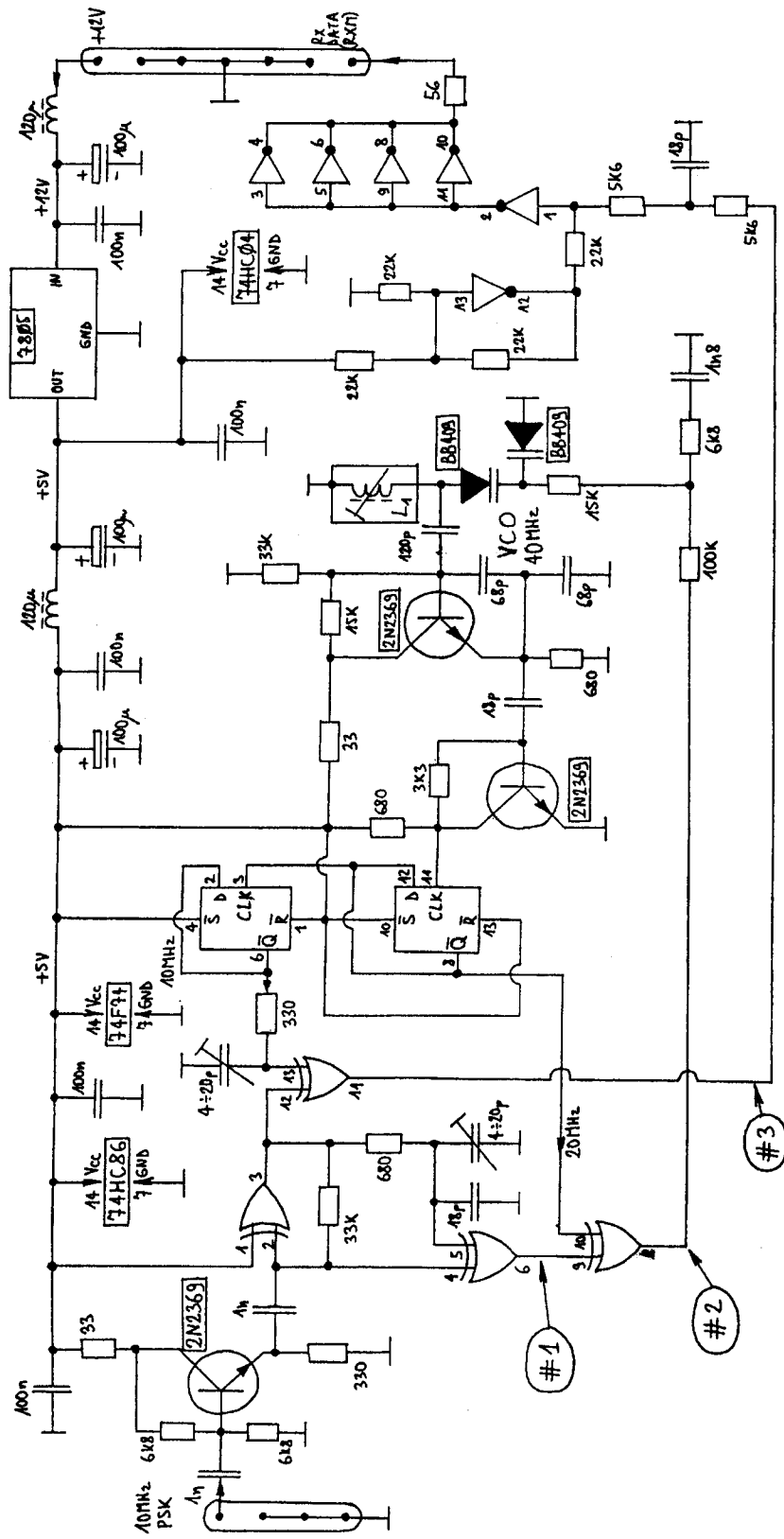
Slika 23 - BPSK oddajnik z neposredno modulacijo.



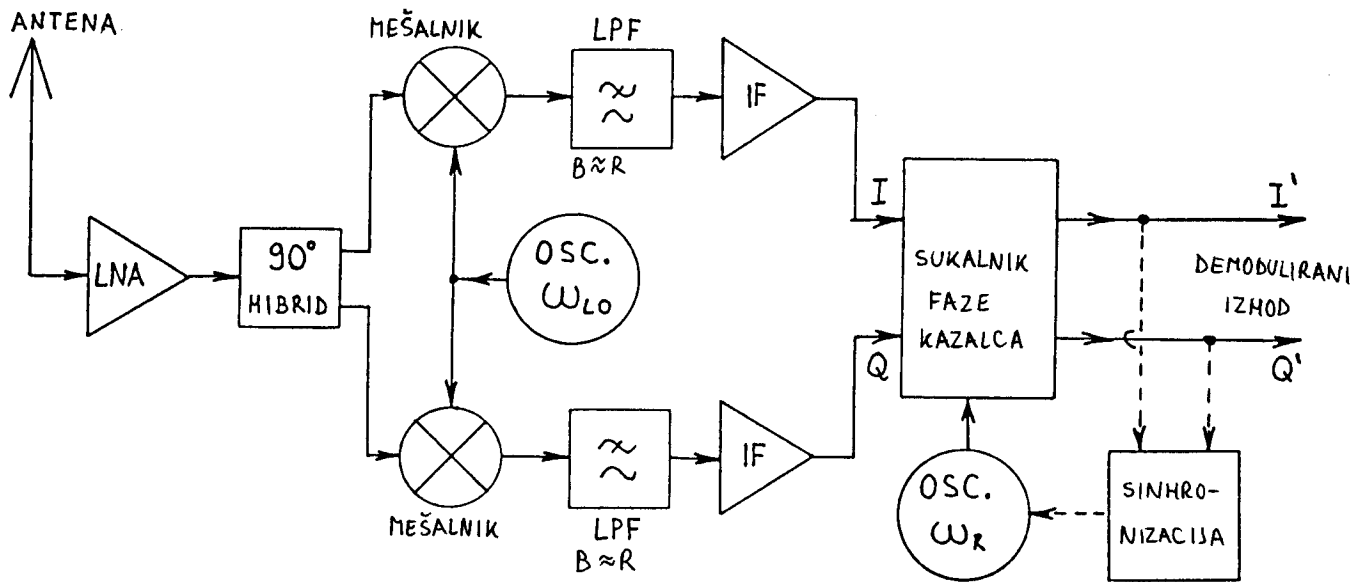
Slika 24 - BPSK sprejemnik s kvadriranjem signala.



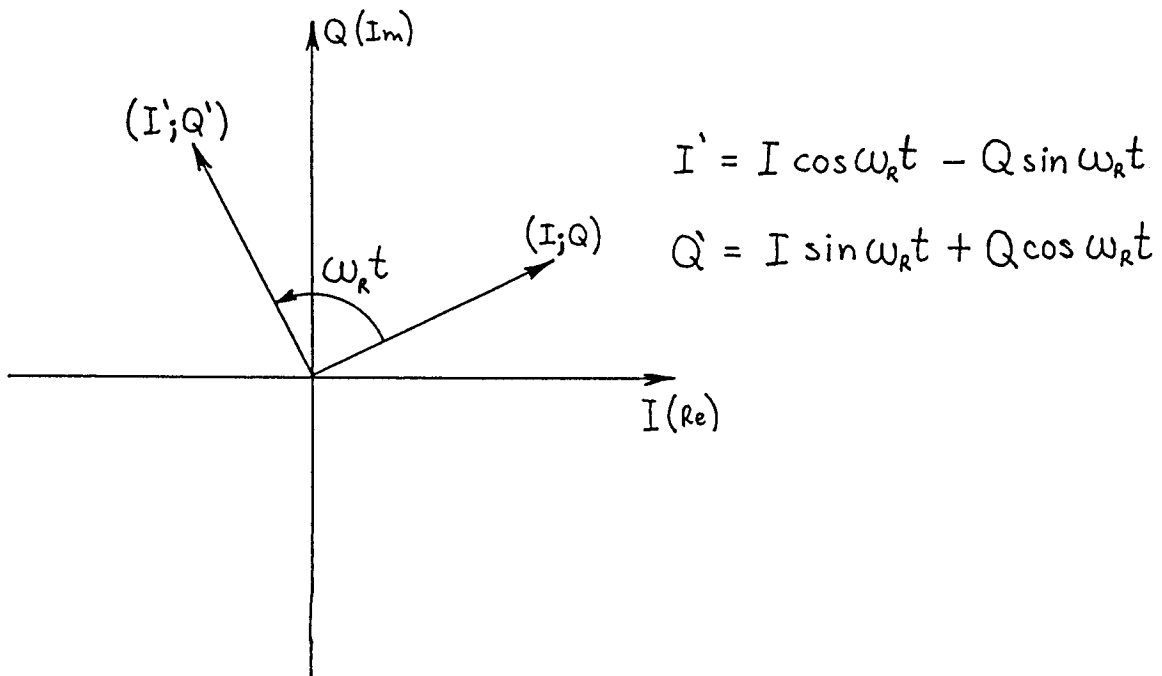
Slika 25 - BPSK sprejemnik s Costas-ovo zanko.



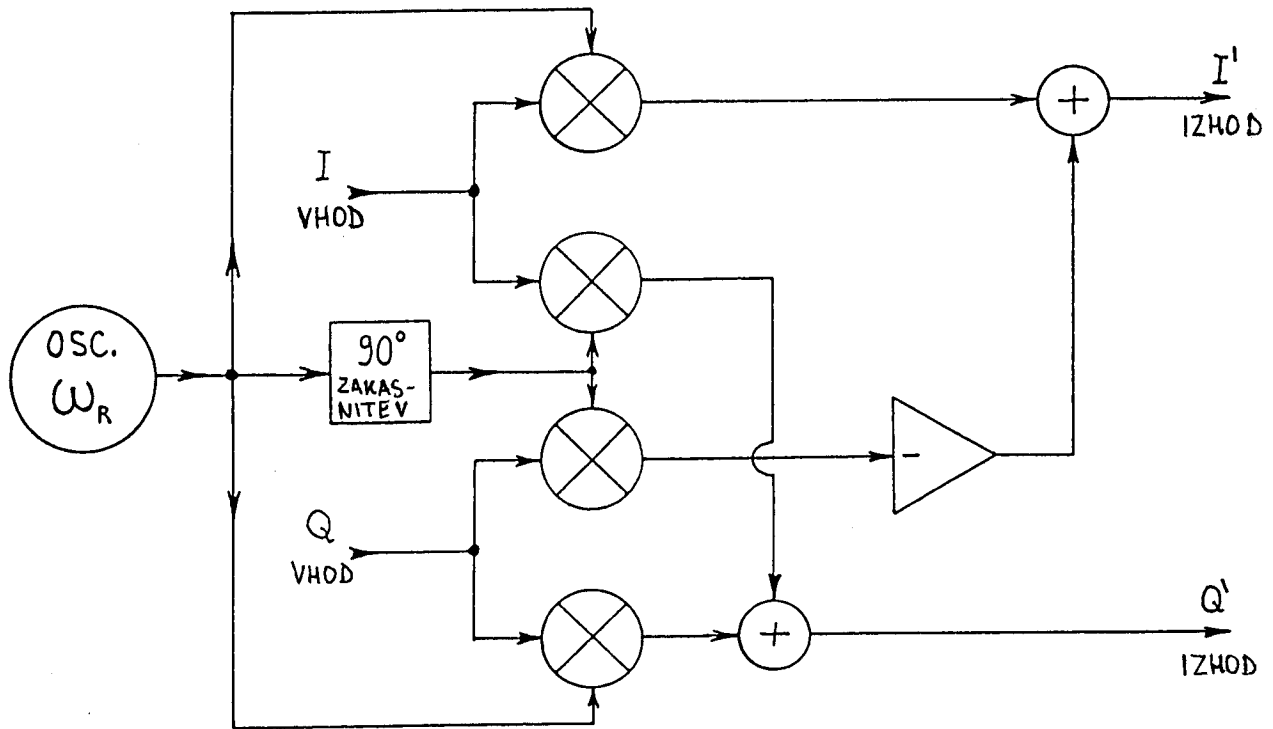
Slika 26 - 1.2 Mbit/s, 10 MHz BPSK demodulator.



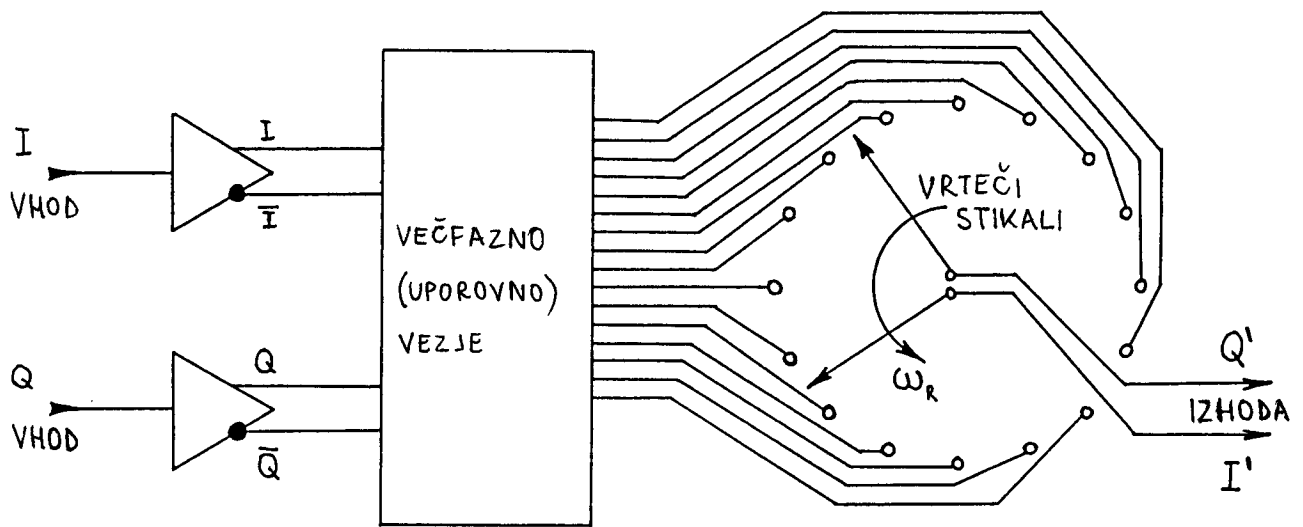
Slika 27 - Sprejemnik z ničelno medfrekvenco.



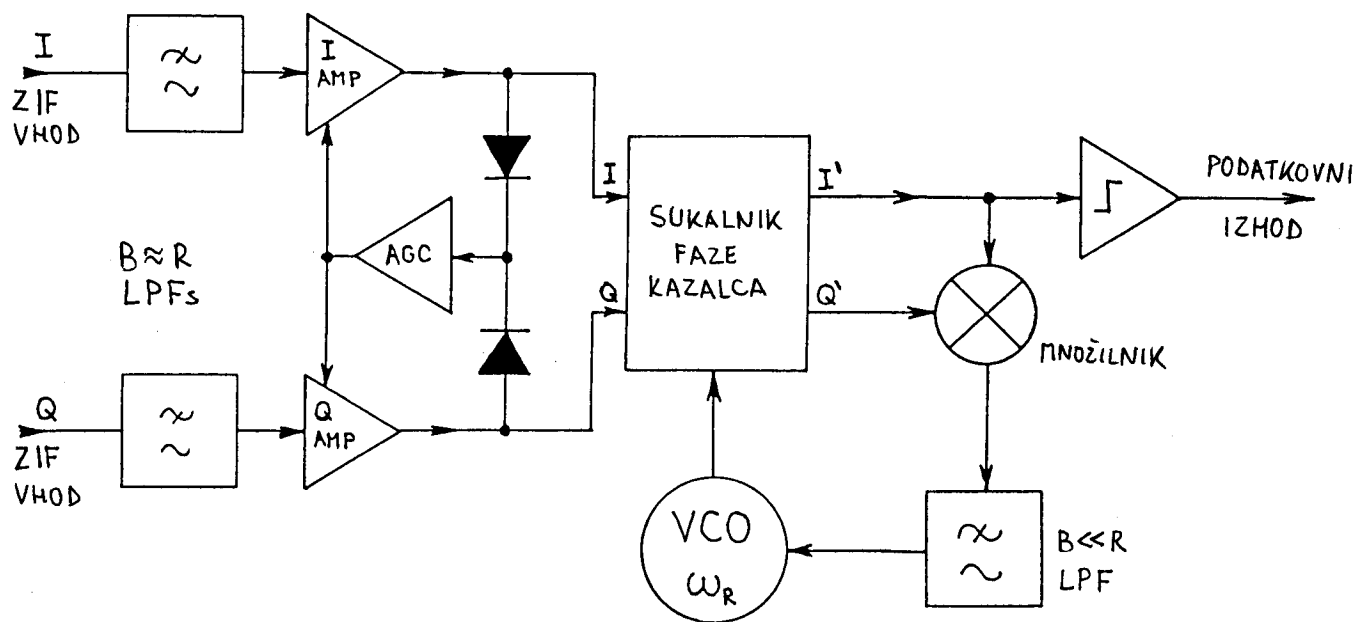
Slika 28 - Sukanje faze kazalca.



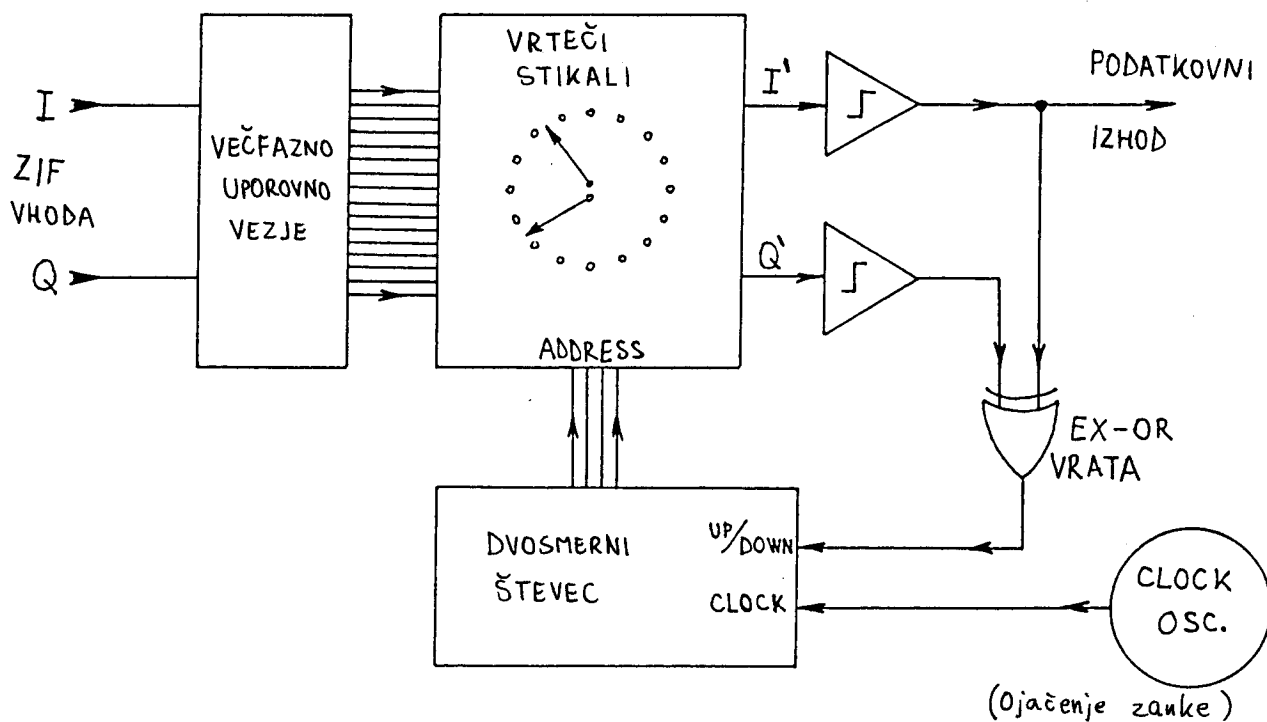
Slika 29 - Sukanje kazalca s štirimi množilniki (mešalniki).



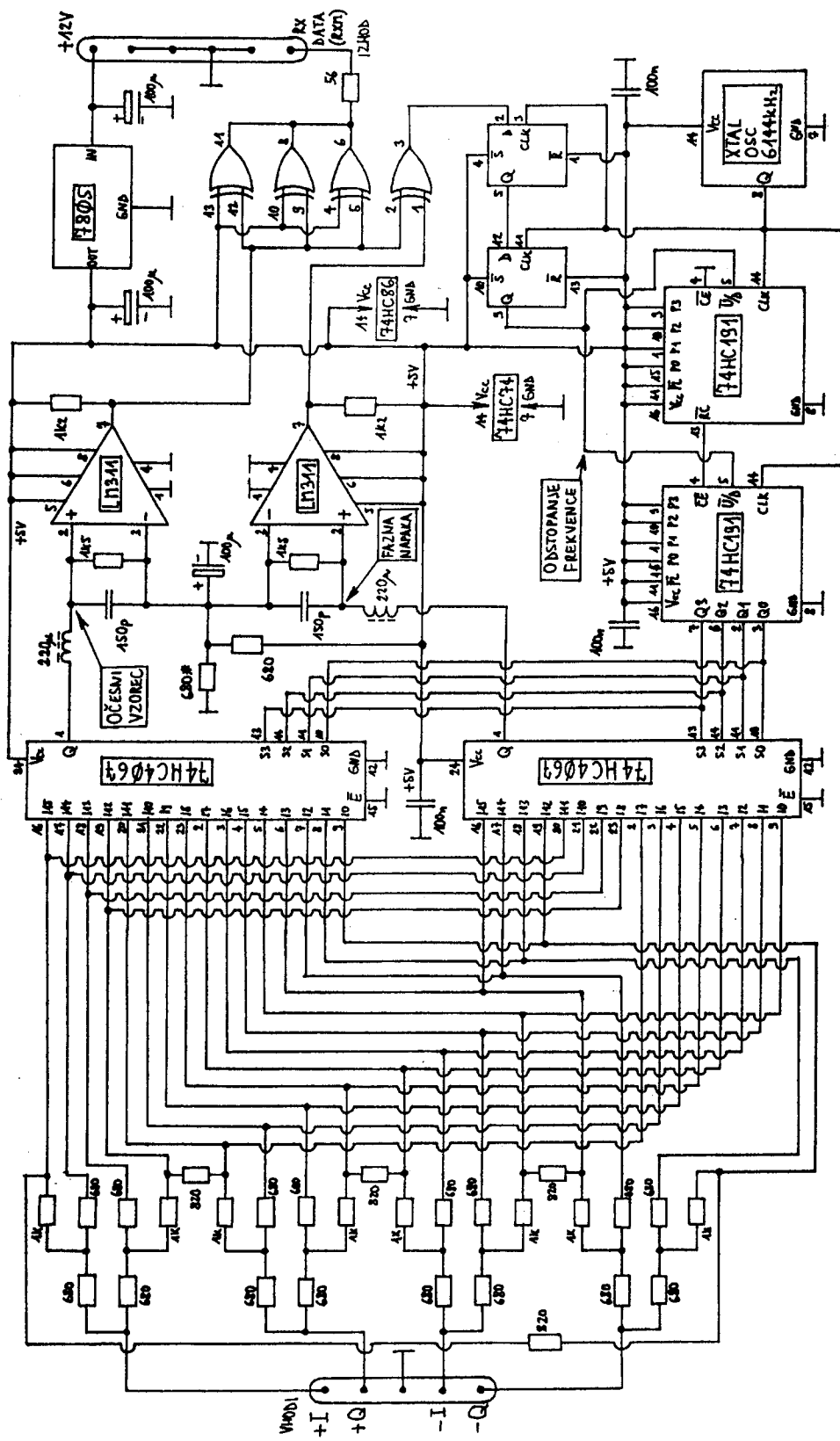
Slika 30 - Sukanje kazalca z vrtečimi stikali.



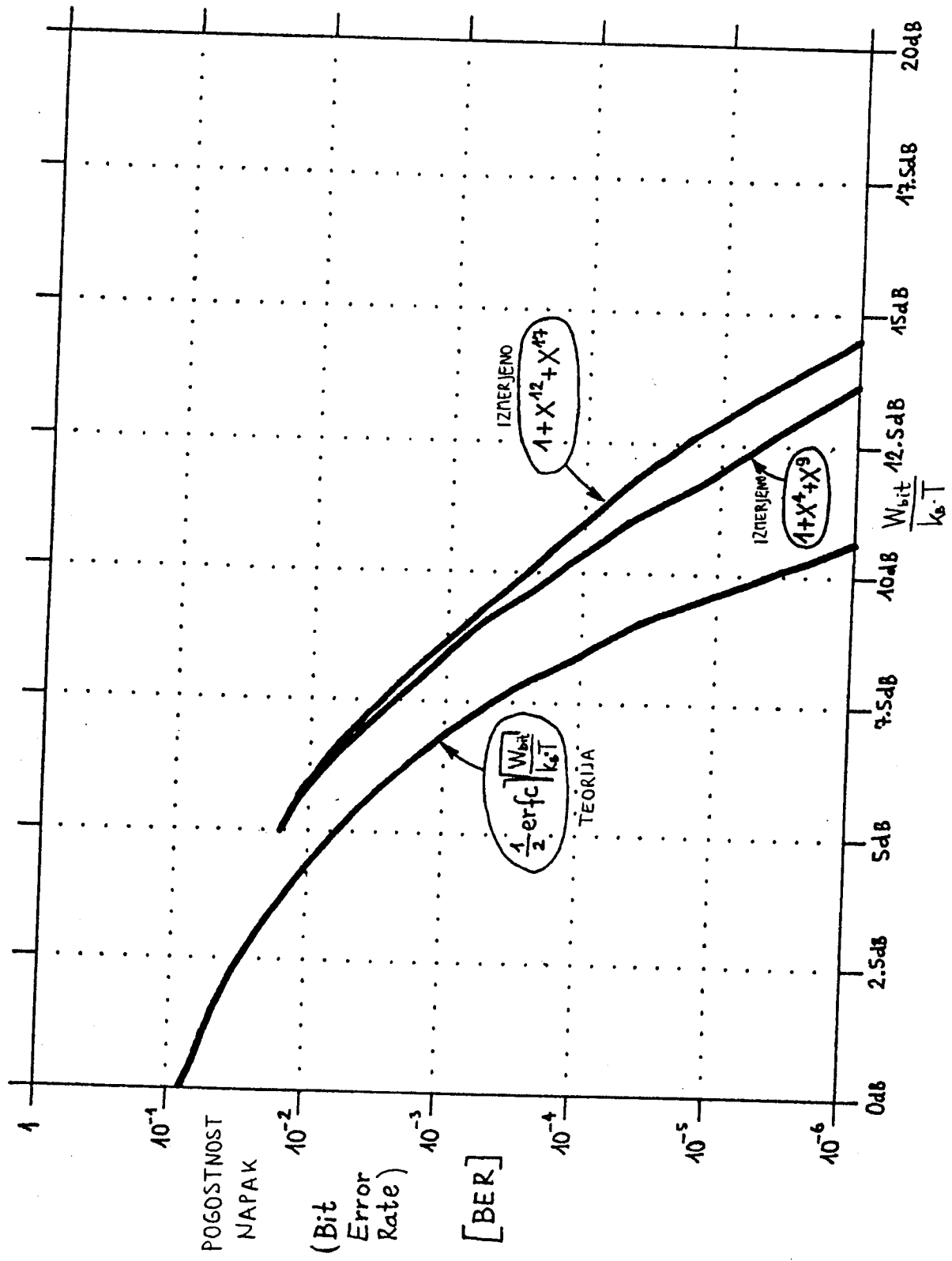
Slika 31 - Costas-ova zanka za ničelno medfrekvenco.



Slika 32 - Costas-ova zanka s številskim VCOjem.



Slika 33 – Costas-ov I/Q BPSK demodulator.



Slika 34 - Izmerjena pogostnost napak ZIF-BPSK sprejemnika.



Spektralna gostota šuma $k_B \cdot T$	-173.9 dBm
Šumno število sprejemnika $F$	+3 dB
Hitrost prenosa $C=1.2288$ Mbit/s	+60.9 dB
Wbit/( $k_B \cdot T$ ) za $BER = 10^{-6}$	+10.4 dB
Neidealnost modulatorja + demodulatorja	+3 dB
<hr/>	
Občutljivost BPSK sprejemnika $P_s$ [dBm]	<u>-96.6 dBm</u>
$(P_{dBm} = 10 \log \frac{P_s}{1mW})$	(0.22 pW ali $3.3 \mu V_{eff}/50\Omega$ )

Slika 35 - Občutljivost BPSK sprejemnika.

Izhodna moč oddajnika $P_o = 1W$	+30 dBm
Dobitek SBFA (sprejem + oddaja)	$2 \times 16 \text{ dB} = +32 \text{ dB}$
Izgube v kablji in sitih	$2 \times (-2 \text{ dB}) = -4 \text{ dB}$
Občutljivost sprejemnika $P_s$	$-(-96.6) \text{ dBm}$
<hr/>	
Domet zveze $a$ [dB]	<u>154.6 dB</u>

Domet zveze  $d$  [km] pri  $\lambda = 0.23 \text{ m}$ :

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_o^*}{P_s^*}} = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{a}{20}} = \underline{\underline{983 \text{ km}}}$$

Domet zveze  $d$  [km] pri  $\lambda' = 0.13 \text{ m}$ ;  $P_o' = 0.5 \text{ W}$  ( $a' = 151.4 \text{ dB}$ )

$$d' = \frac{\lambda'}{4\pi} 10^{\frac{a'}{20}} = \underline{\underline{384 \text{ km}}}$$

Slika 36 - Domet PSK zveze v praznem prostoru.