

20. Seminar Radijske Komunikacije

Izbira modulacije in protokola za radijska omrežja

Matjaž Vidmar

LSO, FE, Ljubljana, 25-27.9.2013

Seznam prosojnic predavanja: Izbira modulacije in protokola za radijska omrežja

- 1 - Shannon-ov izrek o zmogljivosti zveze
- 2 - Razmerje S/N pri AM in FM
- 3 - Modemska številna zveza
- 4 - Bi-Phase Shift Keying (BPSK)
- 5 - Quadri-Phase Shift Keying (QPSK)
- 6 - Kvadratura Amplitudna Modulacija (QAM)
- 7 - Pogostnost napak različnih modulacij
- 8 - Popačenje večpotja v radijski zvezi
- 9 - Odpravljanje popačenja s prilagodljivim sitom
- 10 - Razširjeni spekter (spread spectrum)
- 11 - Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM)
- 12 - Dobre in slabe lastnosti OFDM
- 13 - Vnaprejšnje popraviljanje napak FEC (Forward Error Correction)
- 14 - Samodejno ponavljanje ARQ (Automatic Repeat Request)
- 15 - Okvir in paket
- 16 - Radijsko omrežje s skrito postajo
- 17 - Tekmovalni in upravni sodostop
- 18 - Uravnavanje pretoka v radijskem omrežju

Shannon-ov izrek o zmogljivosti zveze

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{B \cdot N_0} \right)$$

C [bit/s ali bps] \equiv zmogljivost zveze

B [Hz] \equiv pasovna širina sprejemnika

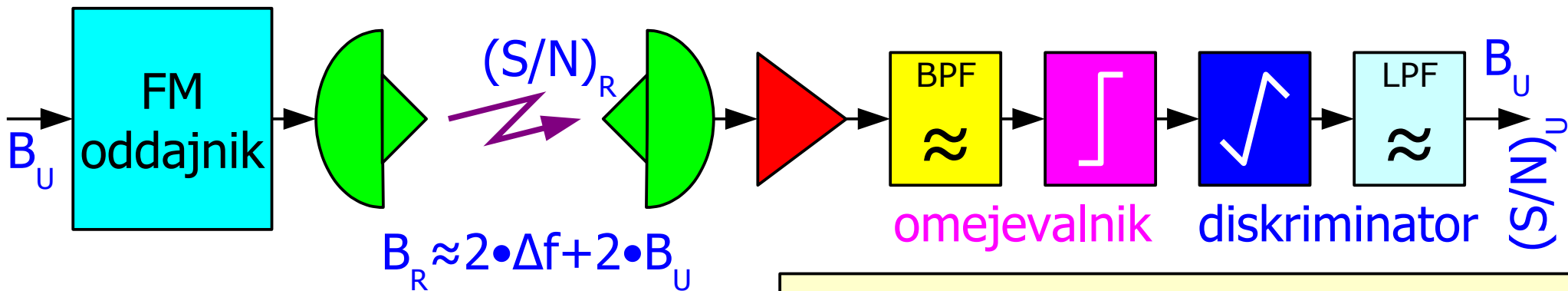
P_S [w] \equiv moč sprejetega signala

P_N [w] \equiv moč šuma (motenj, popačenja)

N_0 [w/Hz] \equiv spektralna gostota šuma (motenj, popačenja)

C_∞ [bps] \equiv meja zmogljivosti pri neskončni pasovni širini B

$$C_\infty = \lim_{B \rightarrow \infty} C = \frac{P_S}{N_0 \cdot \ln 2}$$



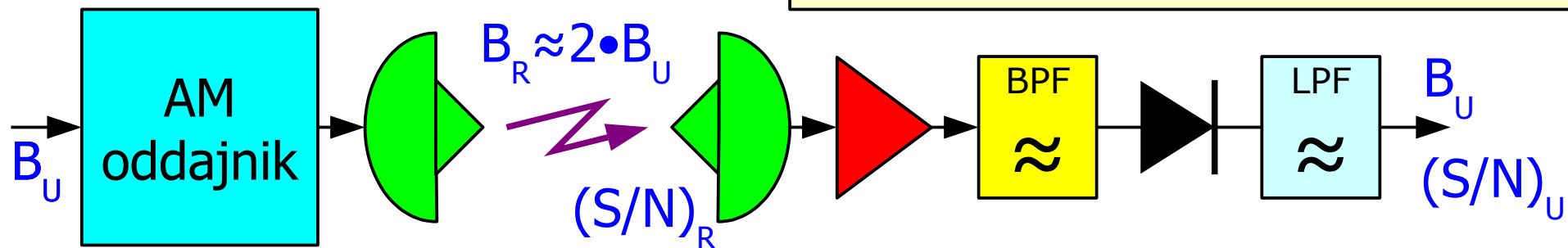
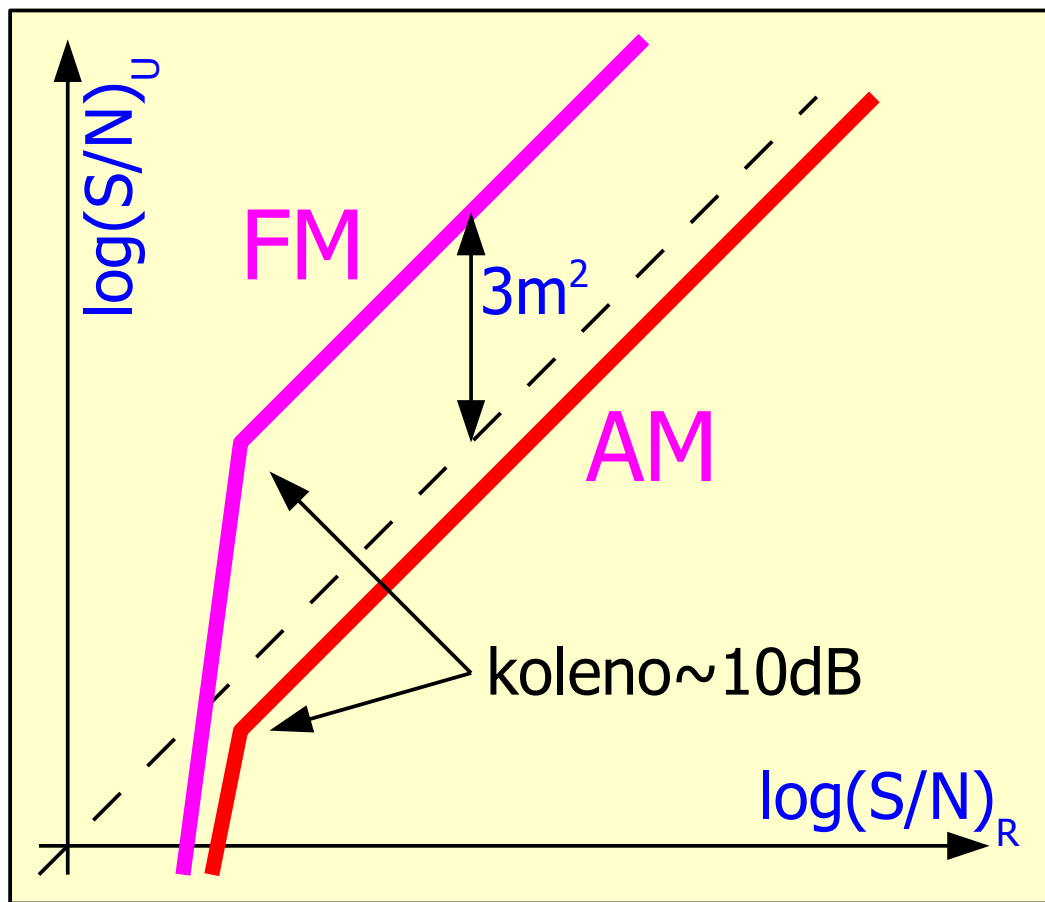
Razmerje S/N pri AM in FM

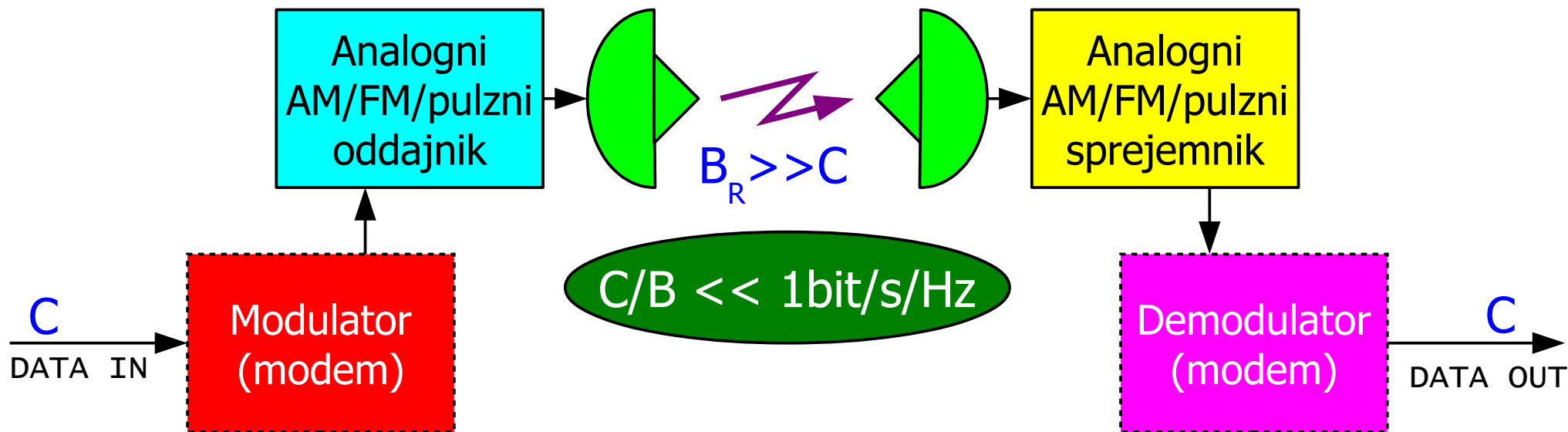
B_U [Hz] \equiv širina uporabnika

Δf [Hz] \equiv \pm FM koleb

$m = \Delta f / B_U$

B_R [Hz] \equiv radijska širina





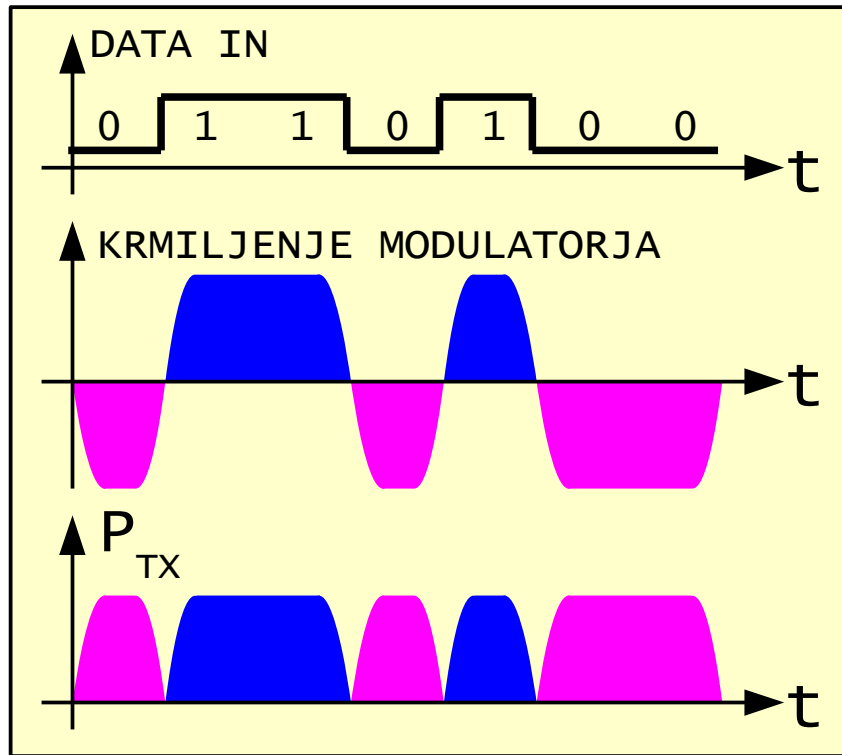
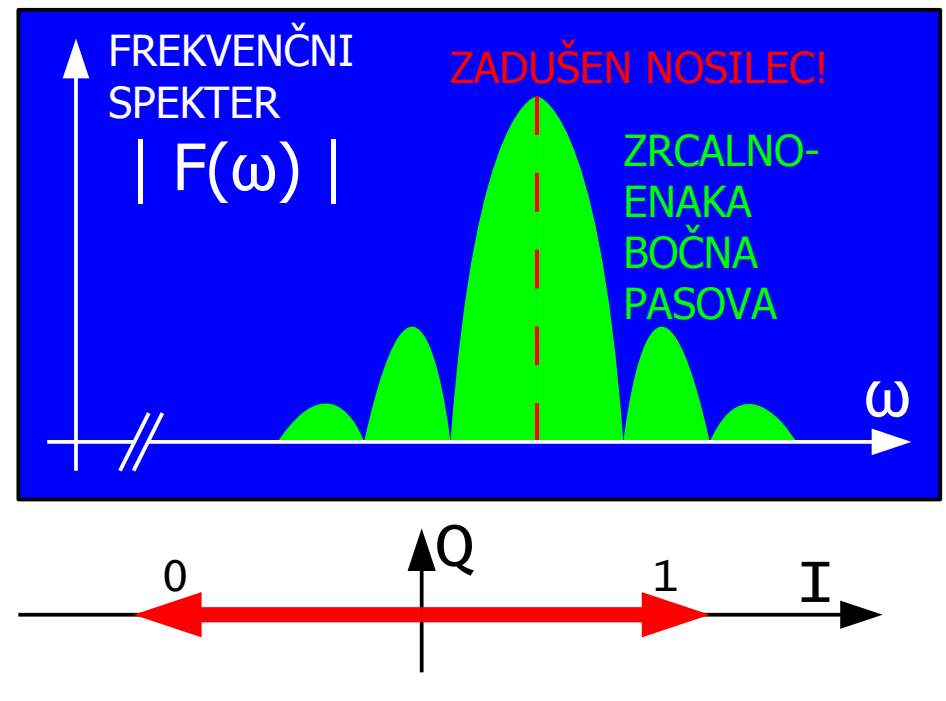
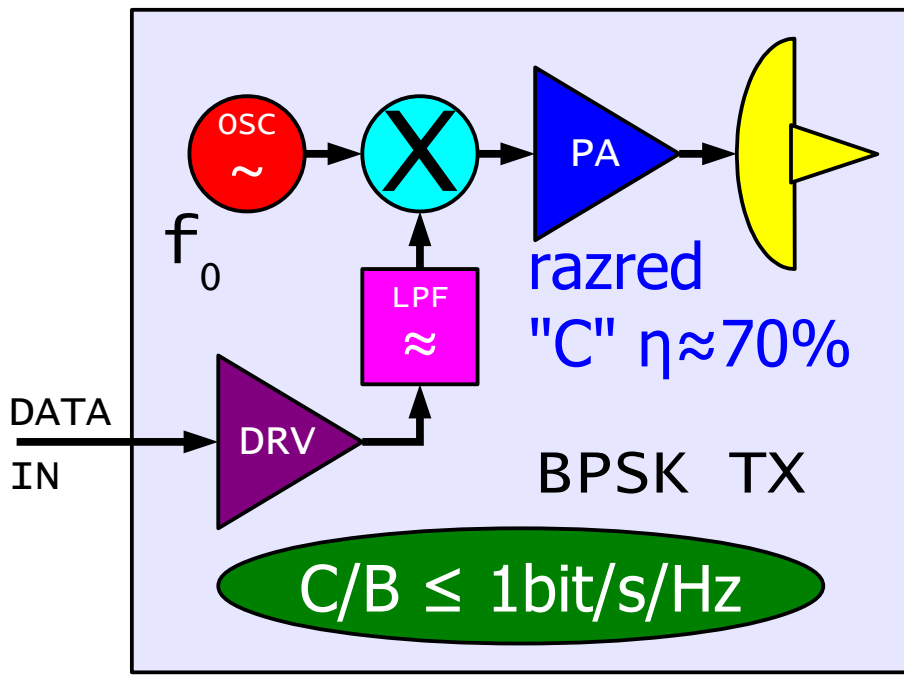
ASK \equiv Amplitude Shift Keying
 FSK \equiv Frequency Shift Keying
 AASK \equiv Audio Amplitude Shift Keying
 AFSK \equiv Audio Frequency Shift Keying
 OOK \equiv On-Off Keying
 PAM \equiv Pulse-Amplitude Modulation
 PPM \equiv Pulse-Position Modulation

Velika radijska pasovna širina $B_R \gg C$
 Zelo nizka spektralna učinkovitost C/B
 Nekoherenten sprejemnik
 20dB...50dB slabše od Shannon-ove
 zmogljivosti

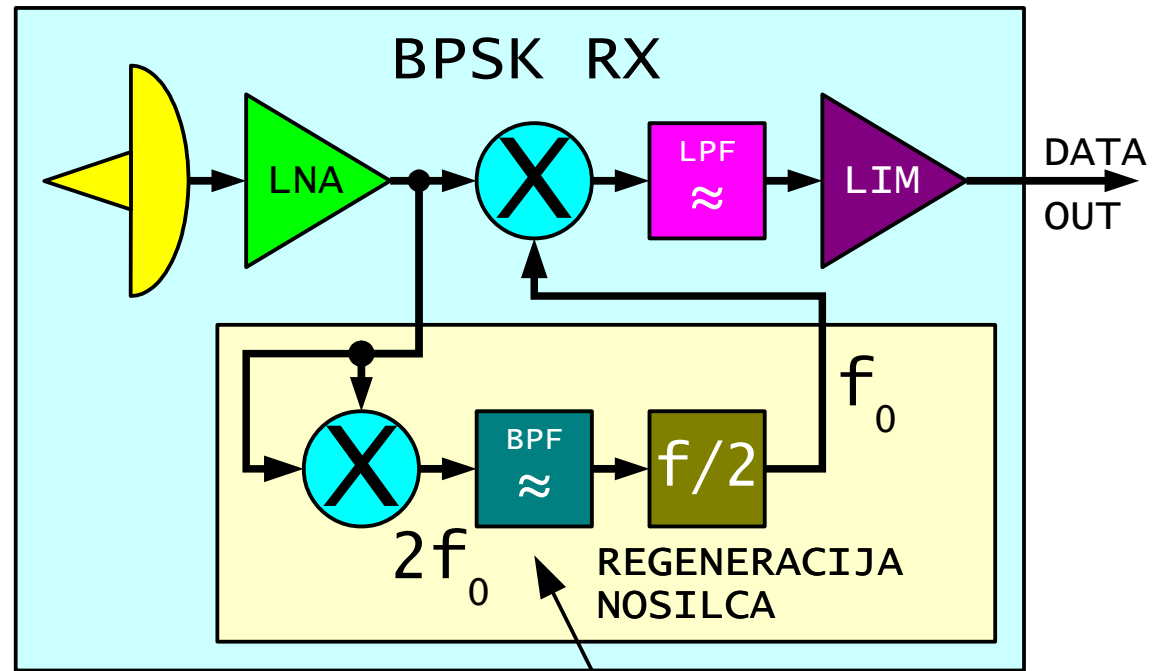
ZGODOVNSKO
KRPANJE!

Preprosta oddajnik in sprejemnik
 Neobčutljivo na odstopanje frekvence
 nosilca oddajnika/sprejemnika

Modemska številna zveza

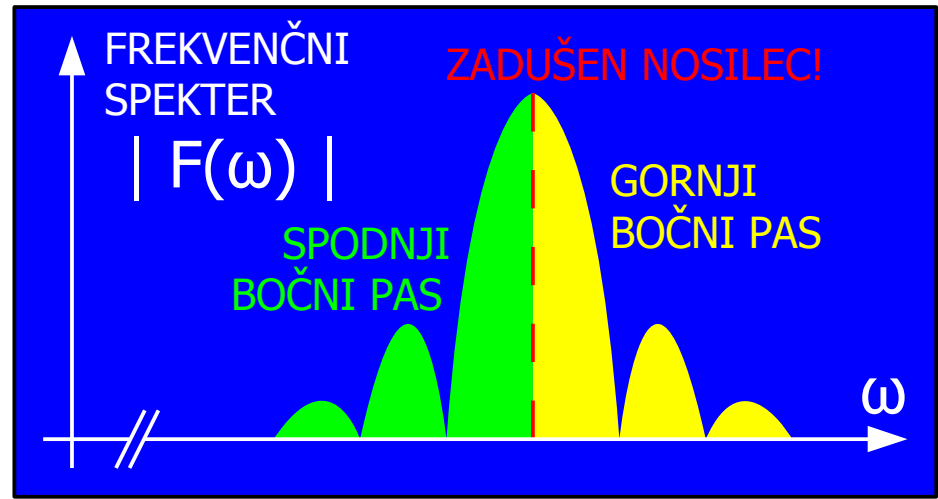
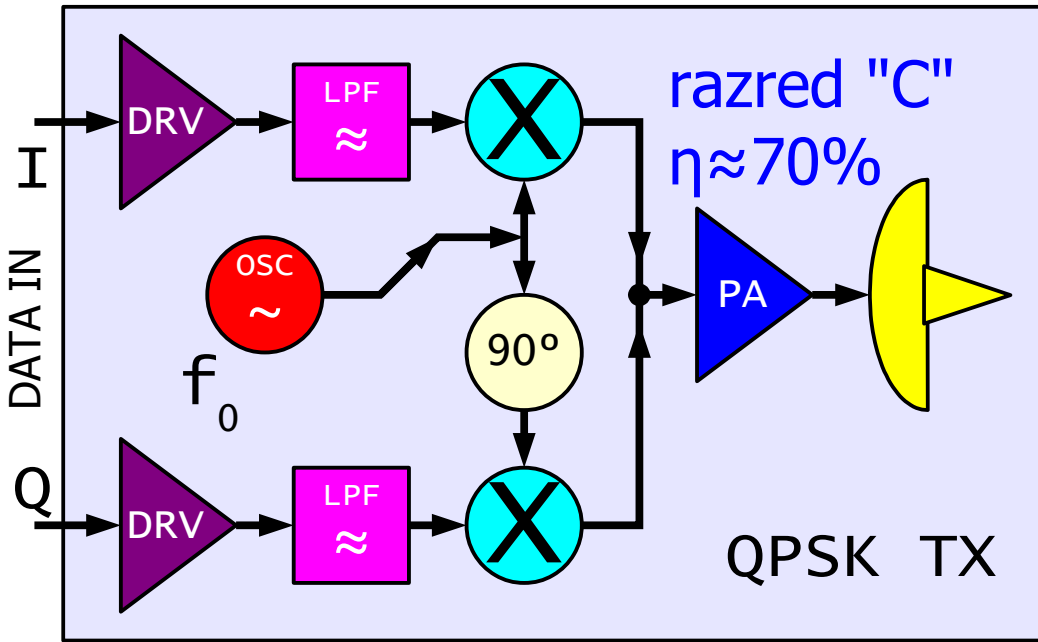


Bi-Phase Shift Keying (BPSK)

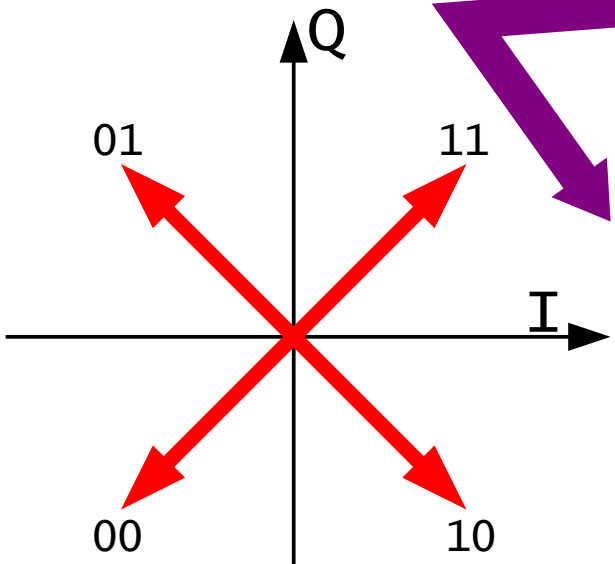


PREPROSTO!

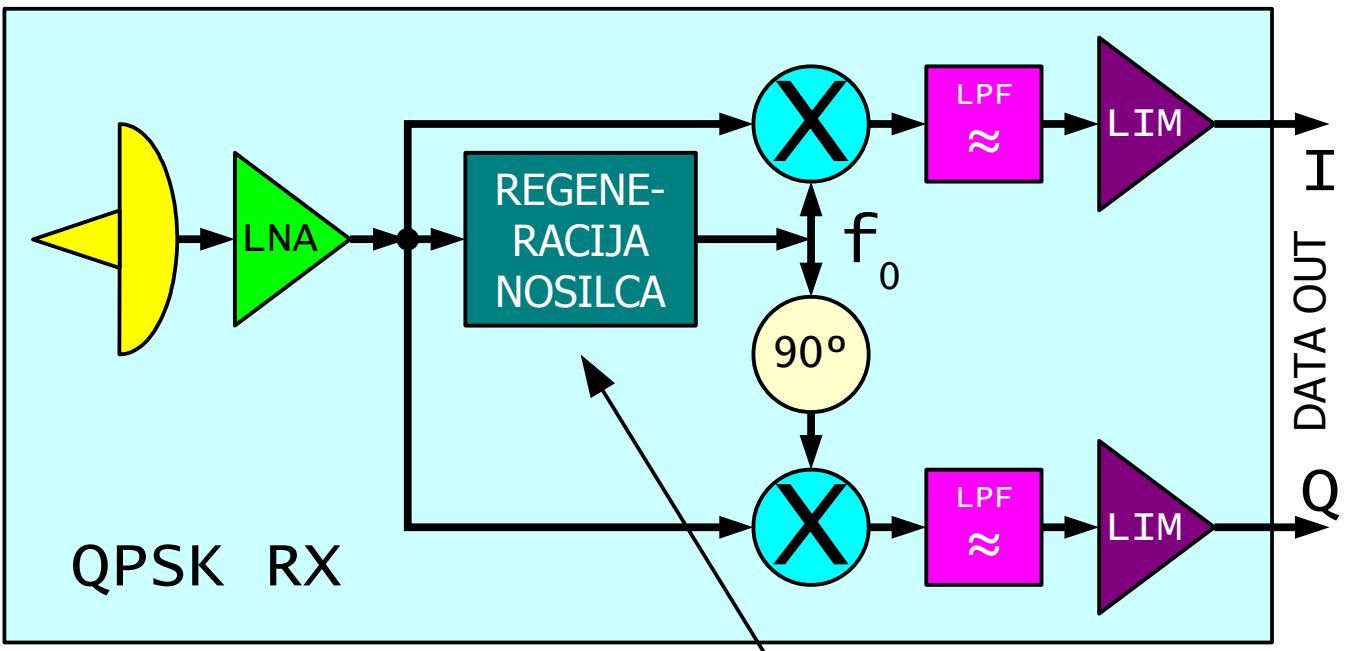
$\Delta f \leq 10\% C$



$C/B \leq 2 \text{ bit/s/Hz}$

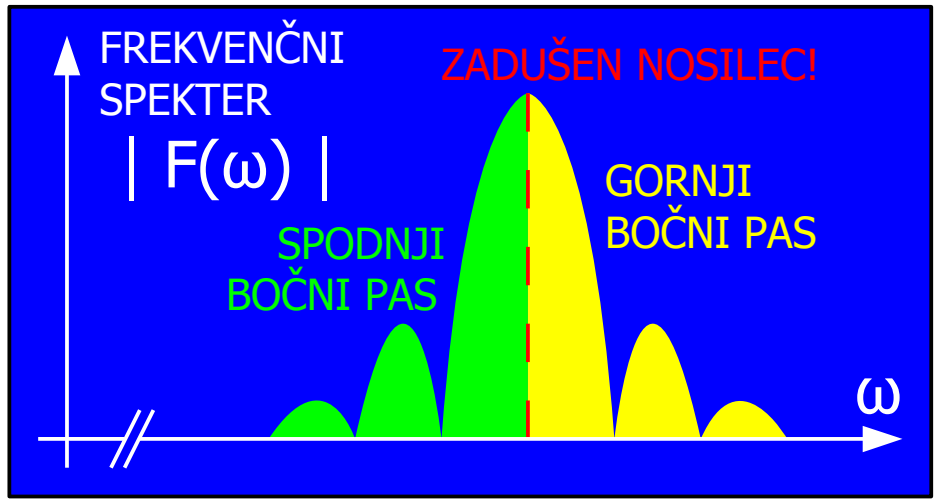
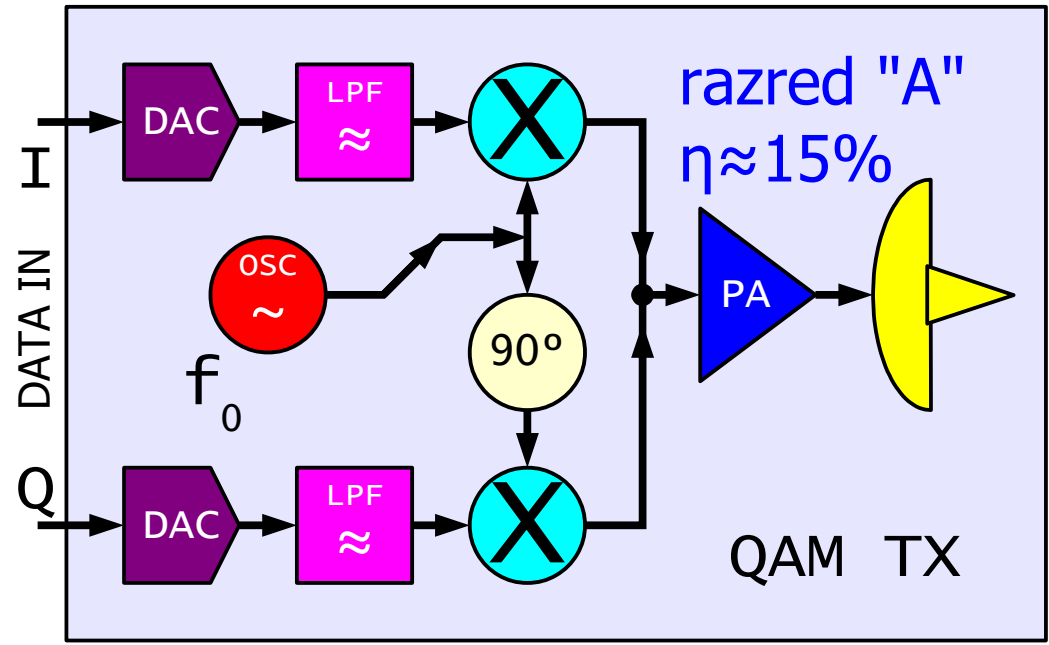


VESOLJE, GSM



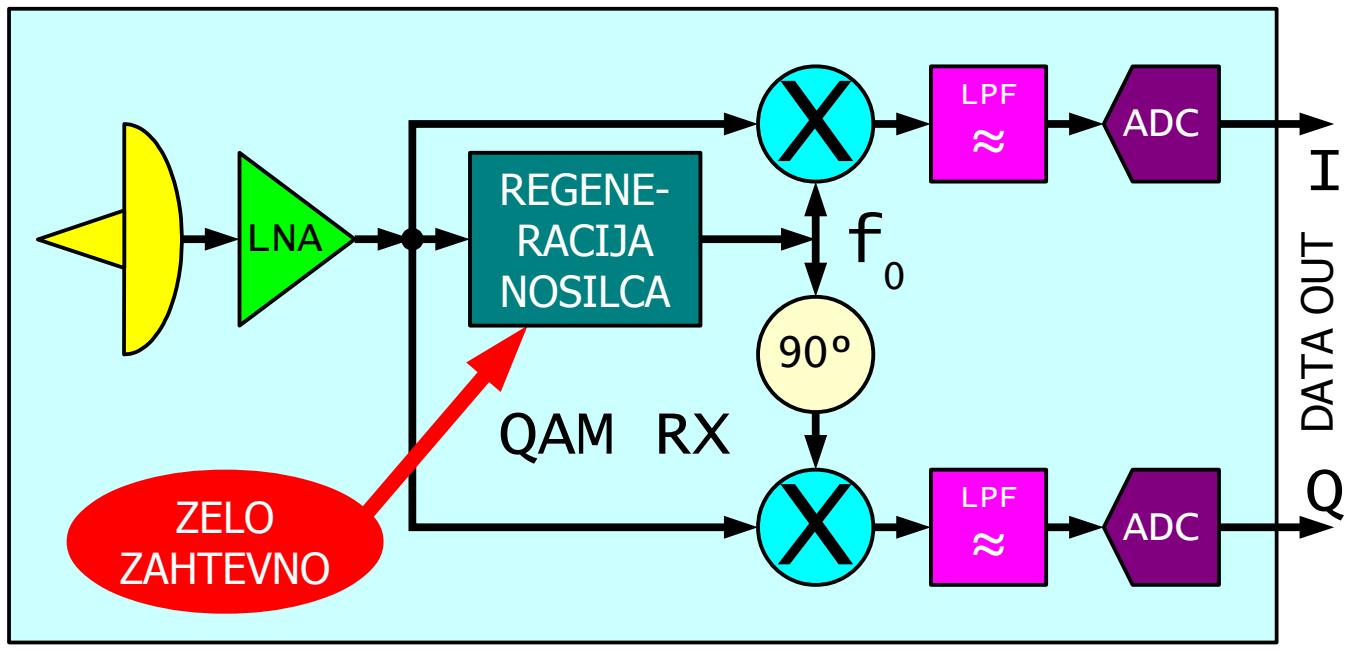
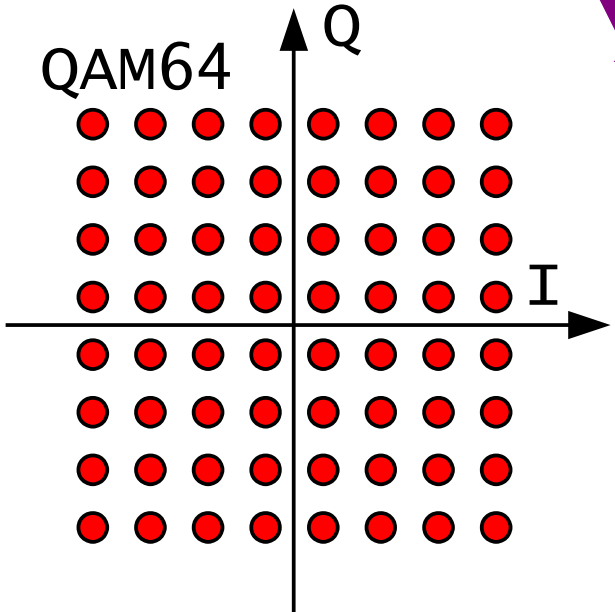
$\Delta f \leq 10\% R$

Quadri-Phase Shift Keying (QPSK)



OBČUTLJIV NA ODBOJE (VEČPOTJE)

$C/B \leq 6 \text{ bit/s/Hz}$



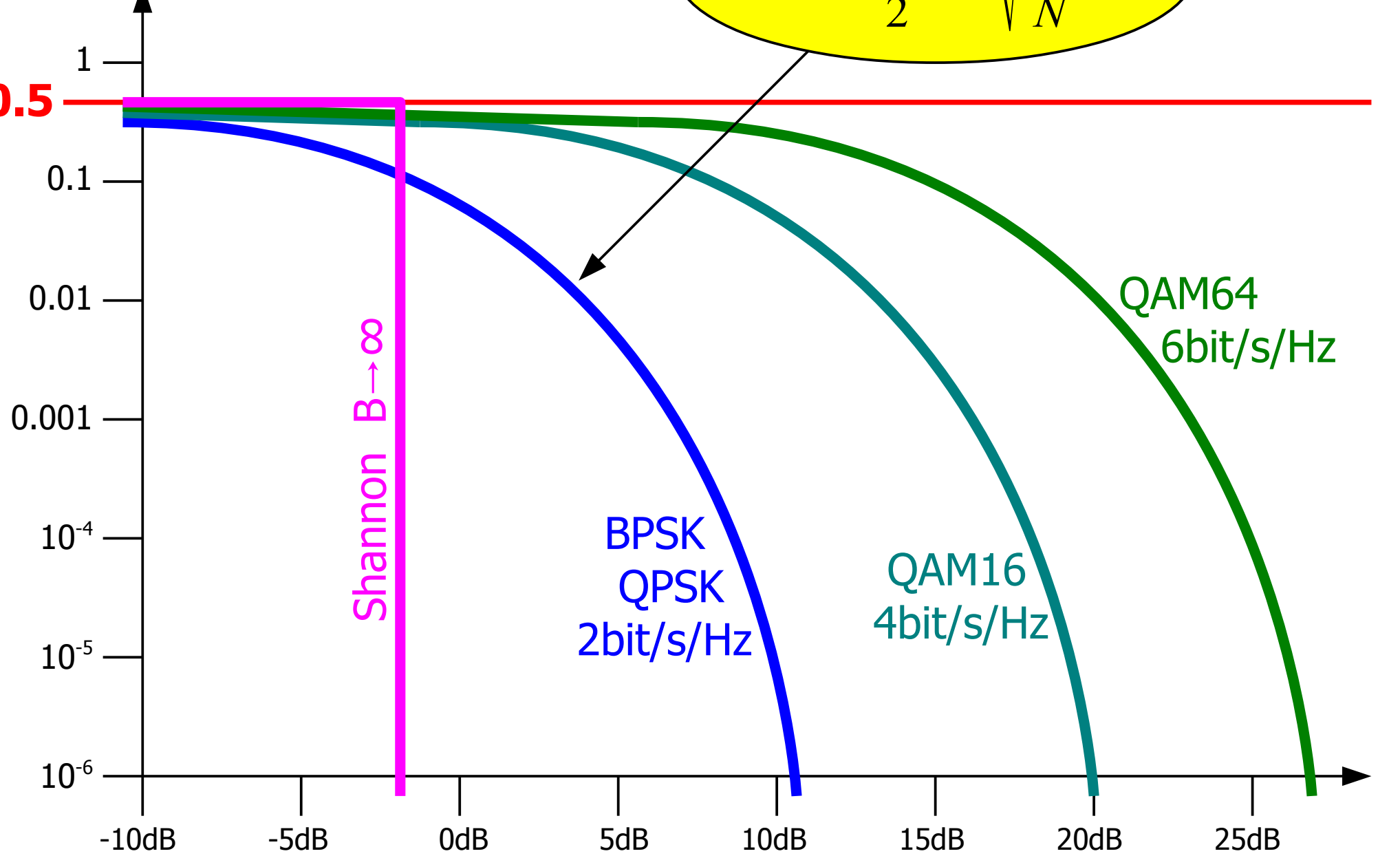
TOČKA-TOČKA

Kvadrturna Amplitudna Modulacija (QAM)

Pogostnost napak
BER

0.5

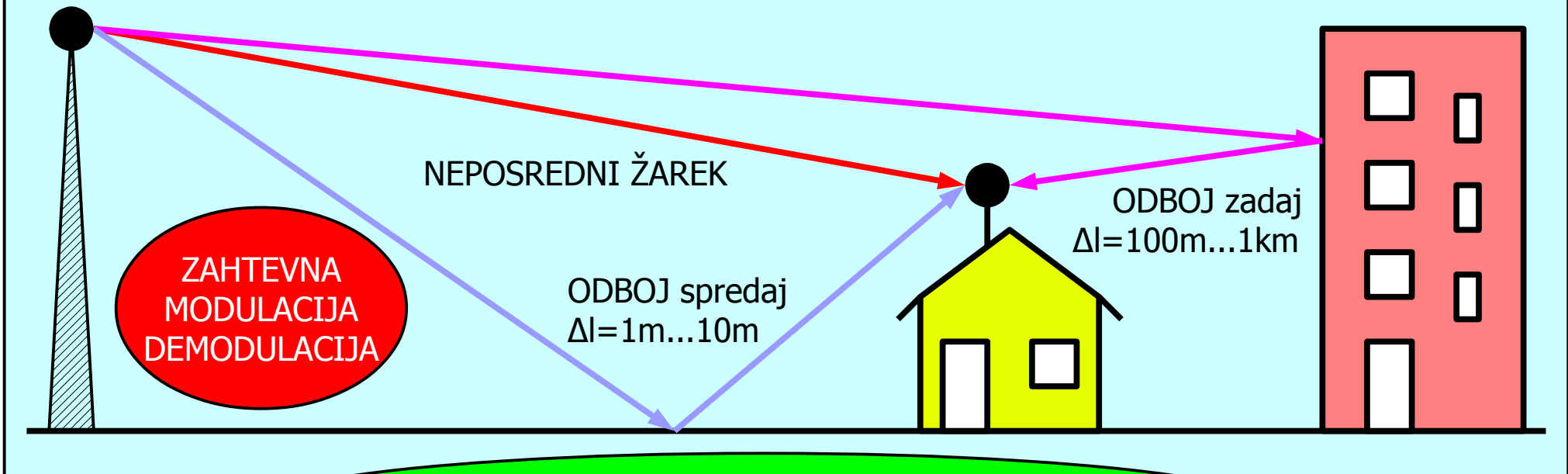
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{S}{N}}$$



Pogostonost napak različnih modulacij

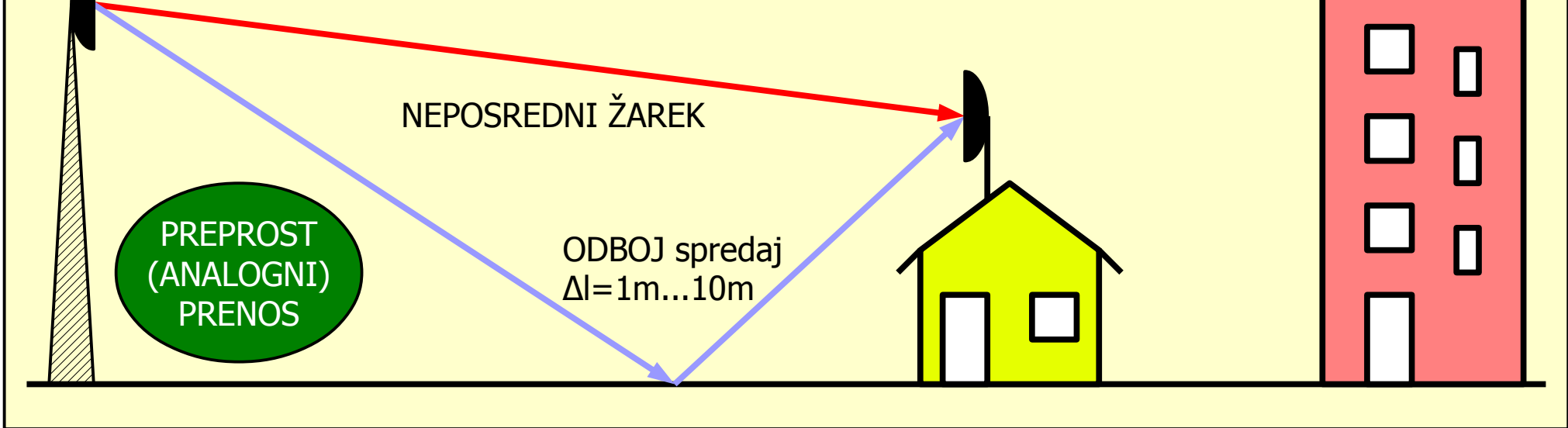
log(S/N)

NEUSMERJENE ANTENE ZAHTEVAJO ODPRAVLJANJE POPAČENJA VEČPOTJA

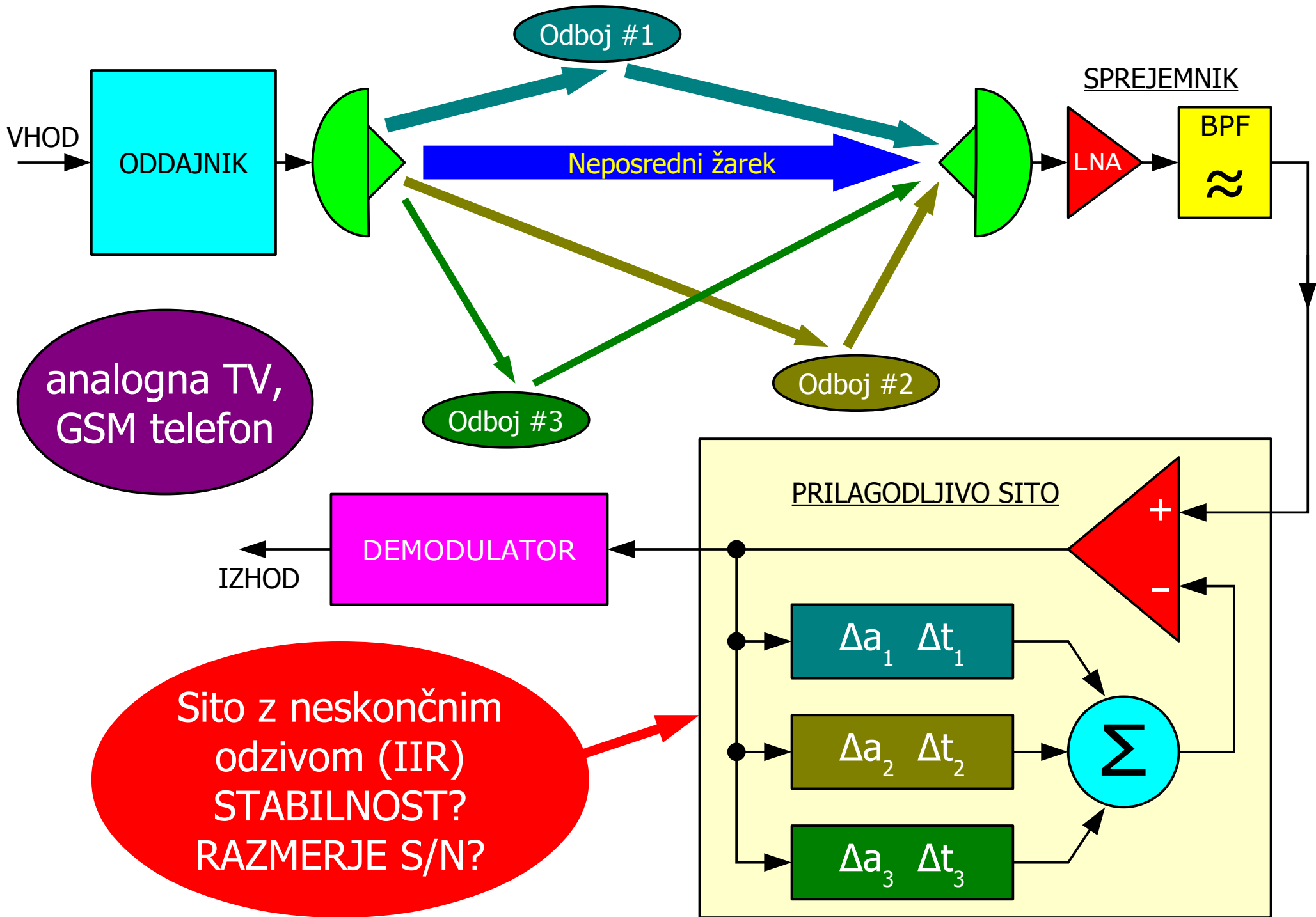


$C=10\text{Mbps (BPSK)} \ggggg \text{ DOLŽINA ENEGA BITA } l=30\text{m}$

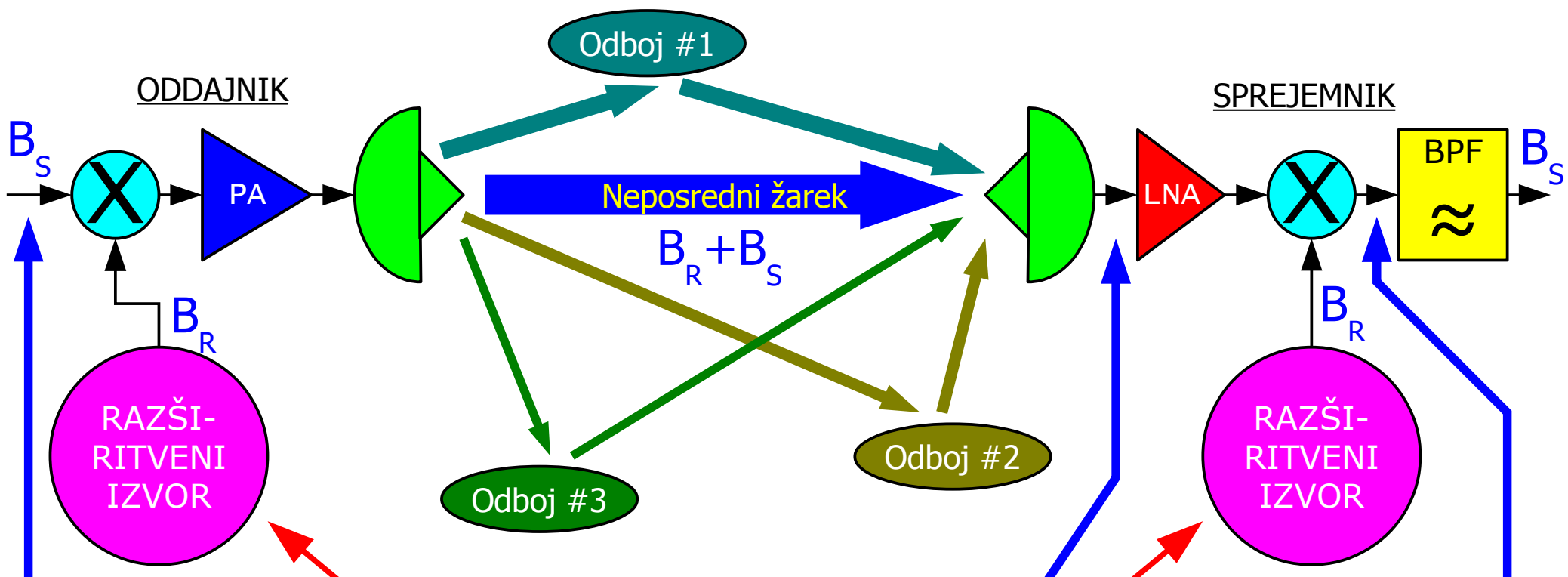
USMERJENE ANTENE OMOGOČAJO MAJHNO POPAČENJE VEČPOTJA



Popačenje večpotja v radijski zvezi



Odpravljanje popačenja s prilagodljivim sitom



Odboj #1

Neposredni žarek

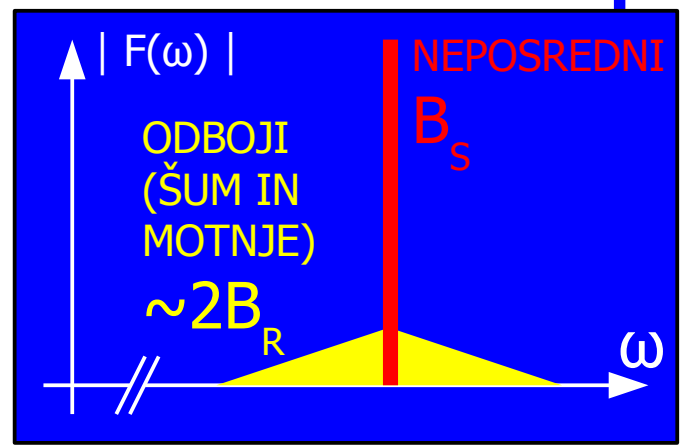
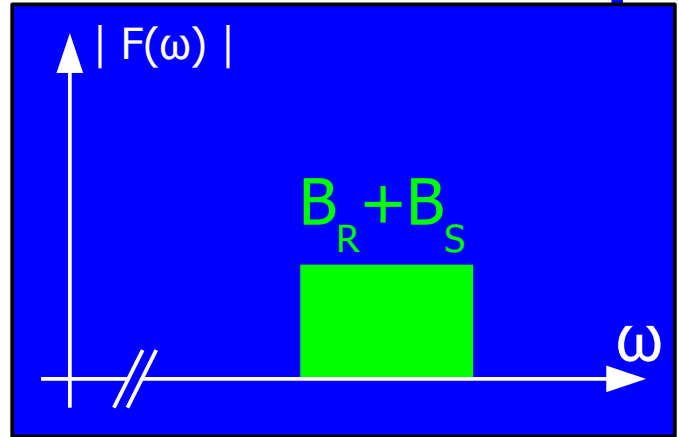
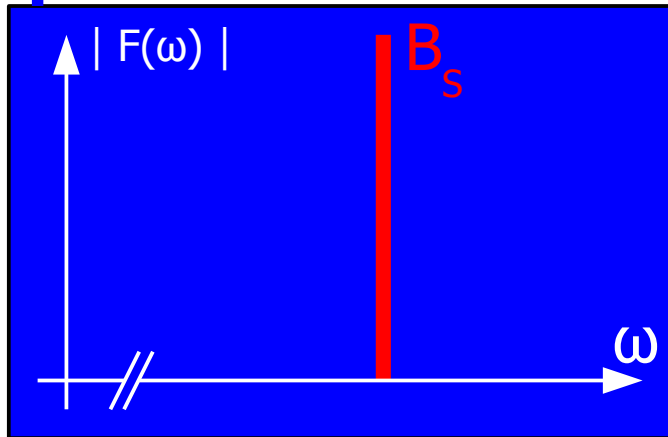
$B_R + B_S$

Odboj #2

Odboj #3

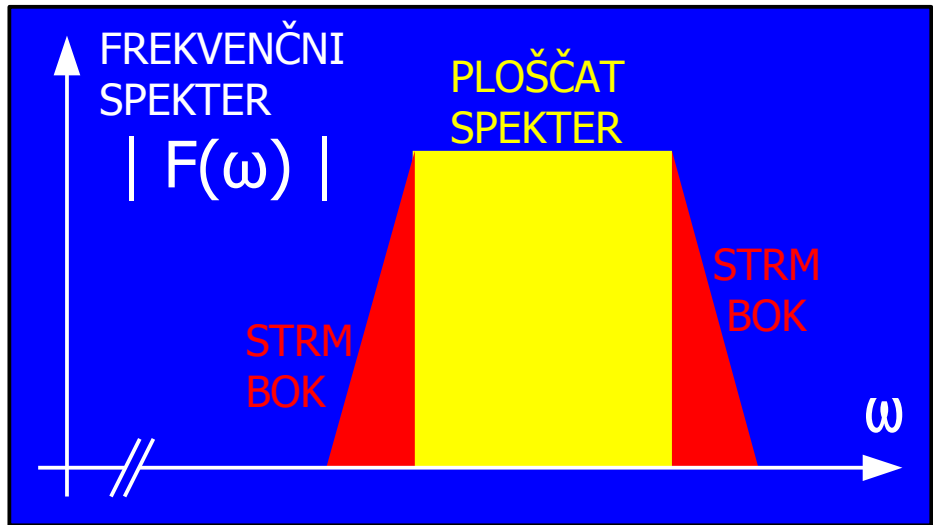
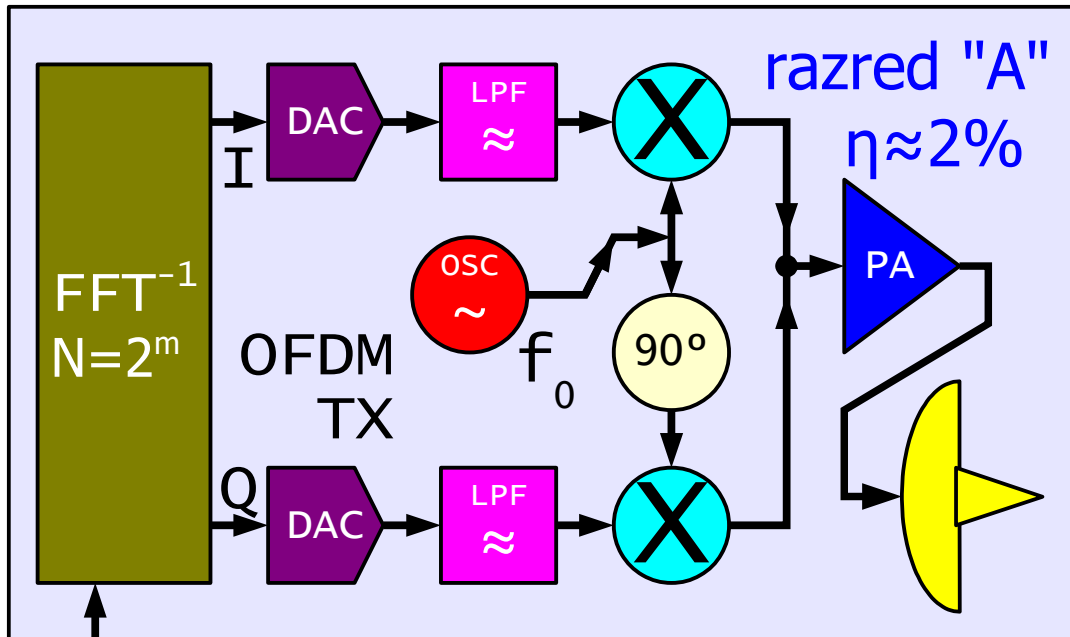
SINHRONIZACIJA

$B_R \gg B_S$



UMTS telefon

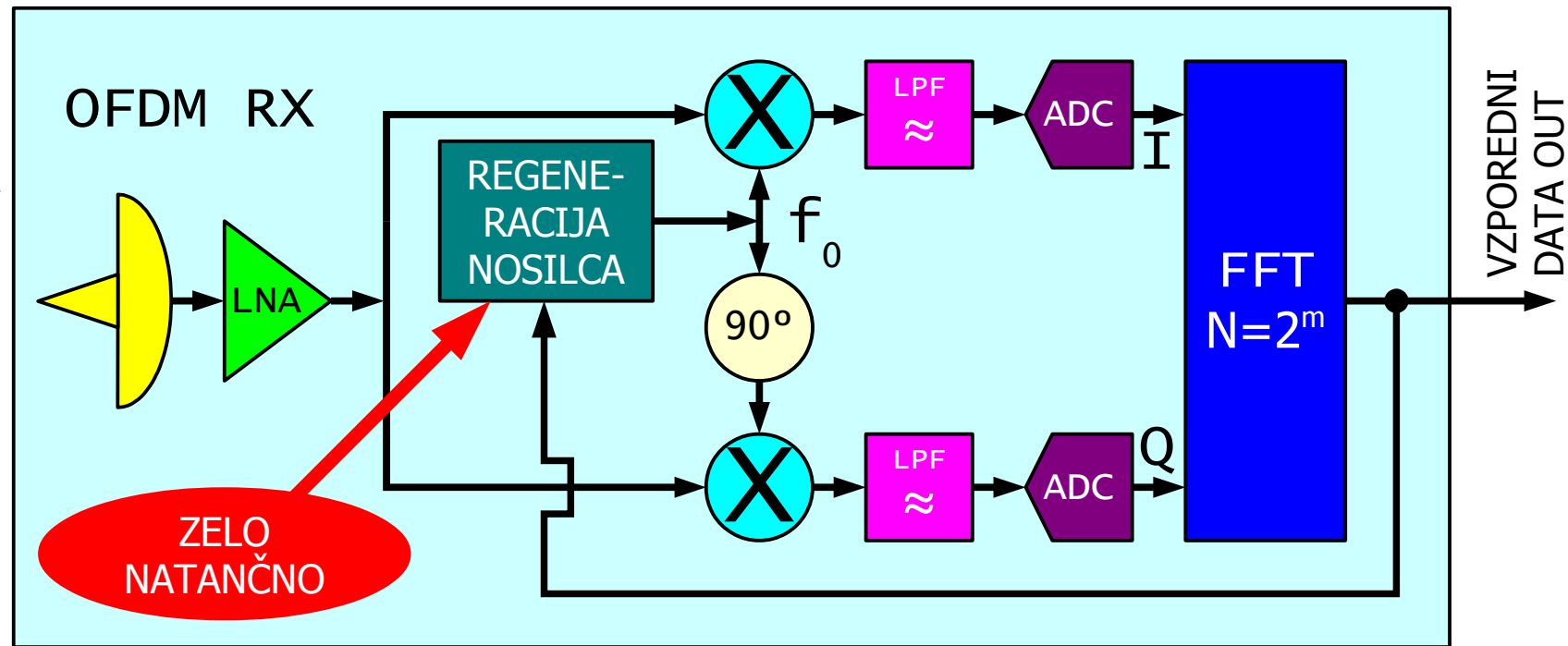
Razširjeni spekter (spread spectrum)



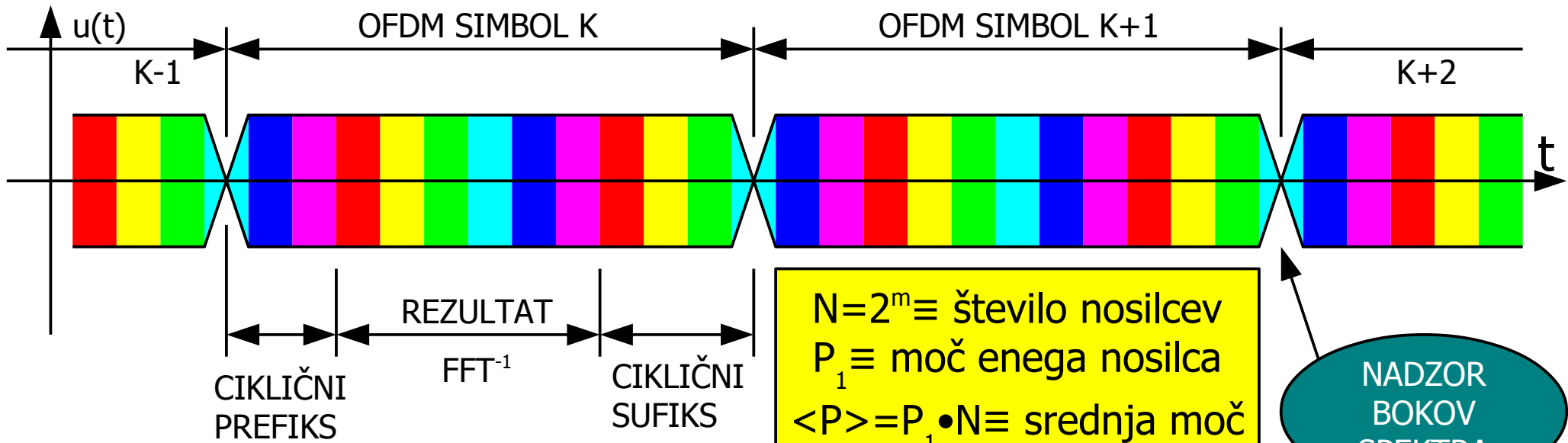
NEOBČUTLJIV NA VEČPOTJE

VZPOREDNI DATA IN: BPSK, QPSK, QAM SIMBOLI

WiFi
DVB-T



Orthogonal Frequency-Division Multiplex (OFDM)



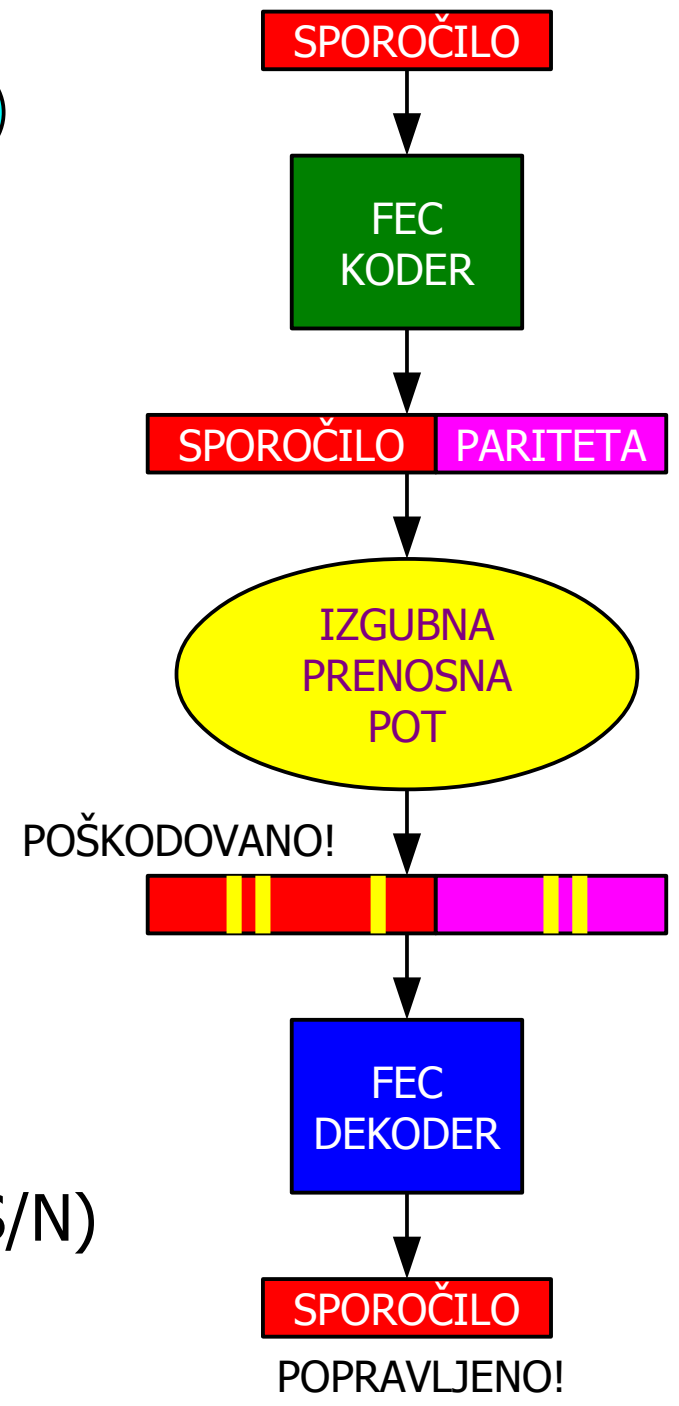
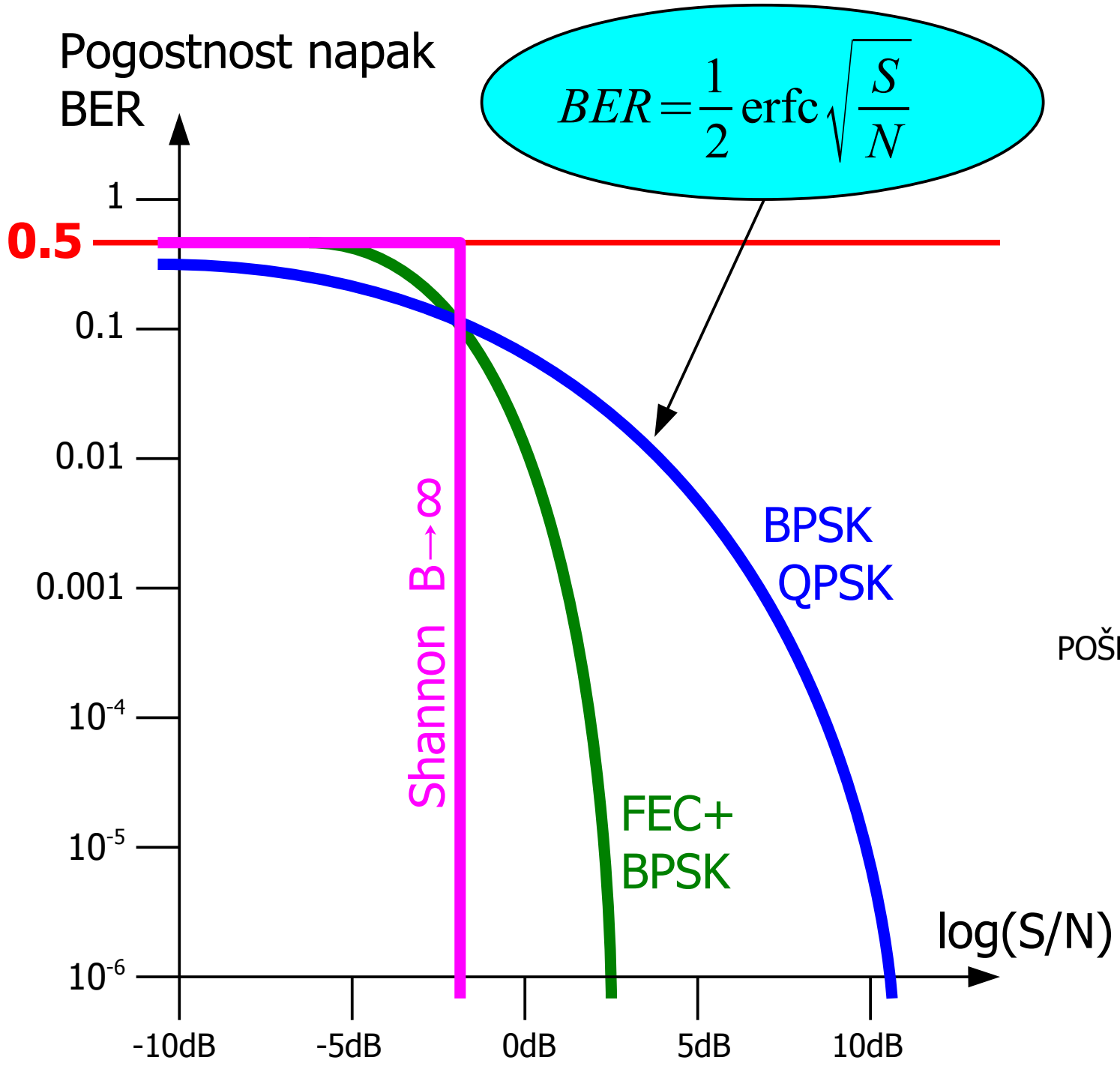
$N=2^m \equiv$ število nosilcev
 $P_1 \equiv$ moč enega nosilca
 $\langle P \rangle = P_1 \cdot N \equiv$ srednja moč
 $P_{MAX} = P_1 \cdot N^2 \equiv$ vršna moč

$$t_{\text{PREFIKS}} + t_{\text{SUFIKS}} \geq \Delta t_{\text{VEČPOTJA}}$$

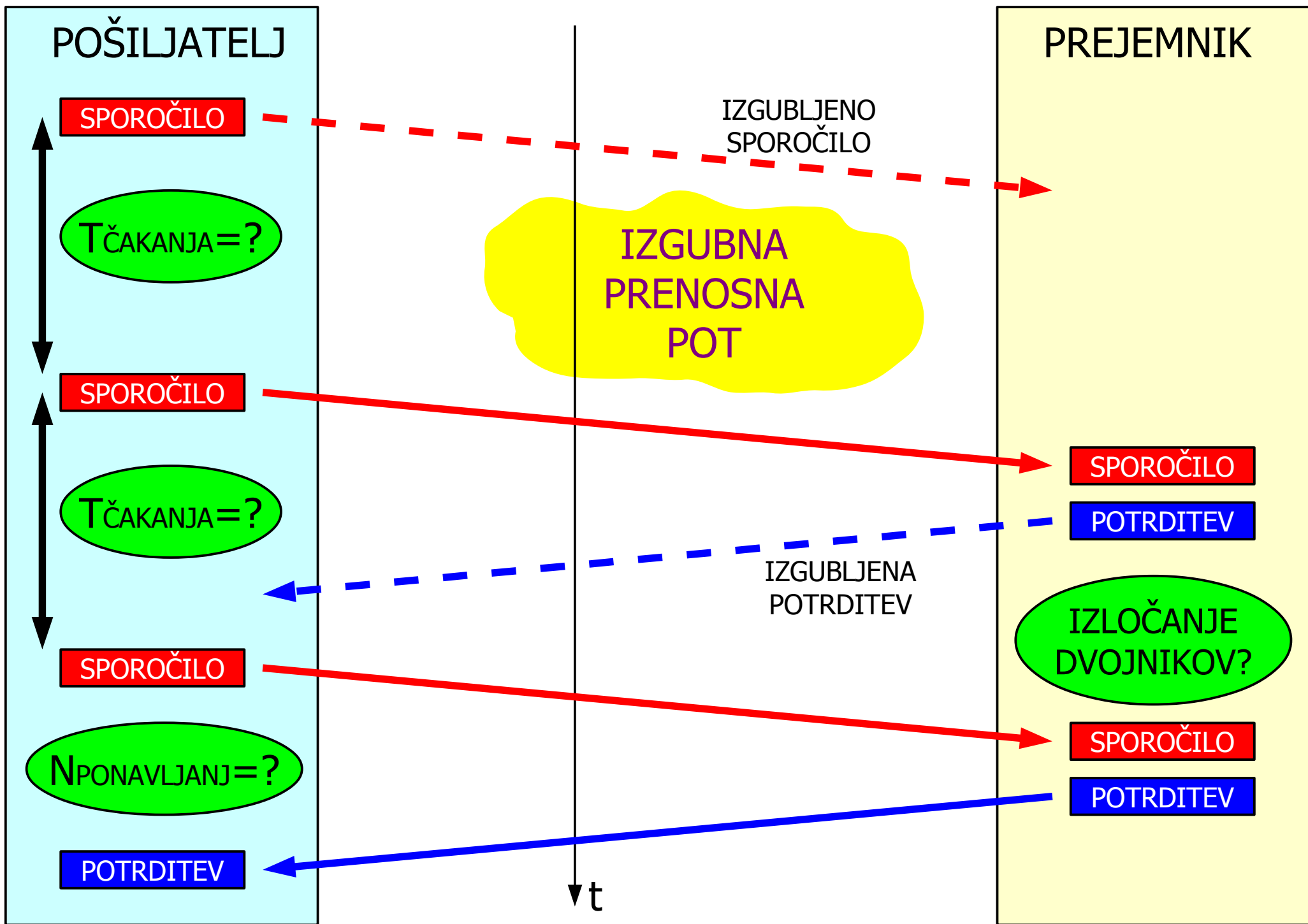
Nastavljiva odpornost na večpotje
 Skoraj pravokoten frekvenčni spekter
 Spektralni izkoristek C/B dosega teoretske vrednosti BPSK, QPSK, QAM
 Omogoča enofrekvenčna omrežja SFN (Single-Frequency Network)

Visok Δt večpotja zahteva velik $N=2^m$
 FFT zahteva $N \cdot \log_2 N$ računskih operacij
 Visoko razmerje $P_{MAX} / \langle P \rangle = N$ pogojuje slab izkoristek oddajnika $\eta \approx 2\%$
 Ozkopasovni nosilci zahtevajo visoko frekvenčno stabilnost $\Delta f \leq 10\% R/N$
 Ozkopasovne motnje rušijo sinhronizacijo

Dobre in slabe lastnosti OFDM



Vnaprejšnje popravljanje napak FEC (Forward Error Correction)



Samodejno ponavljanje ARQ (Automatic Repeat Request)

Sporočilo



Naslavljanje



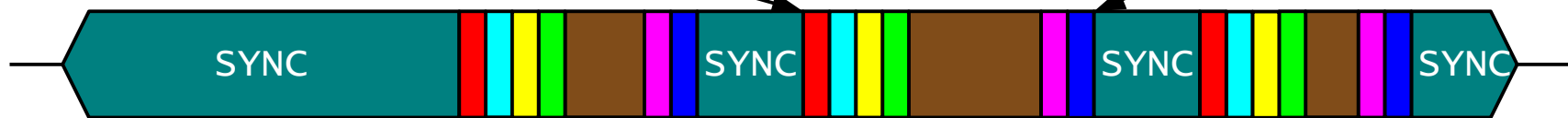
Kontrolna vsota (CRC)



Uokvirjanje

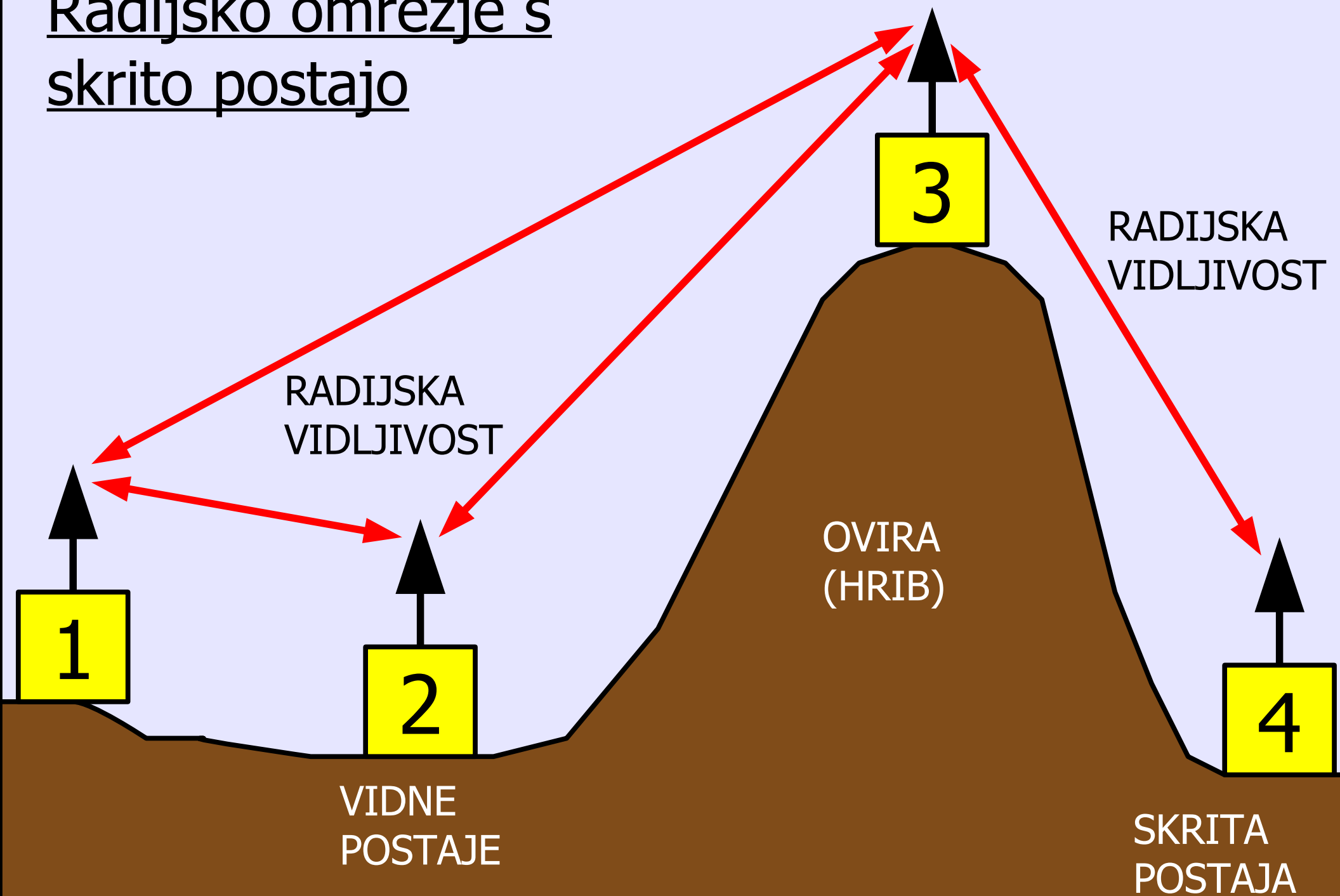


Paket okvirjev

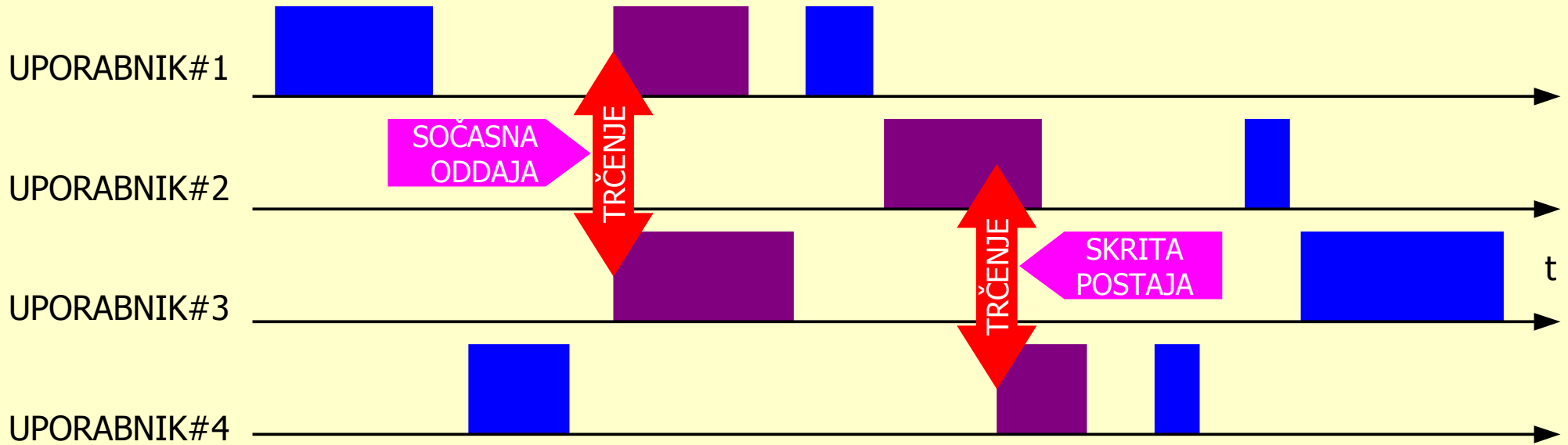


Okvir in paket

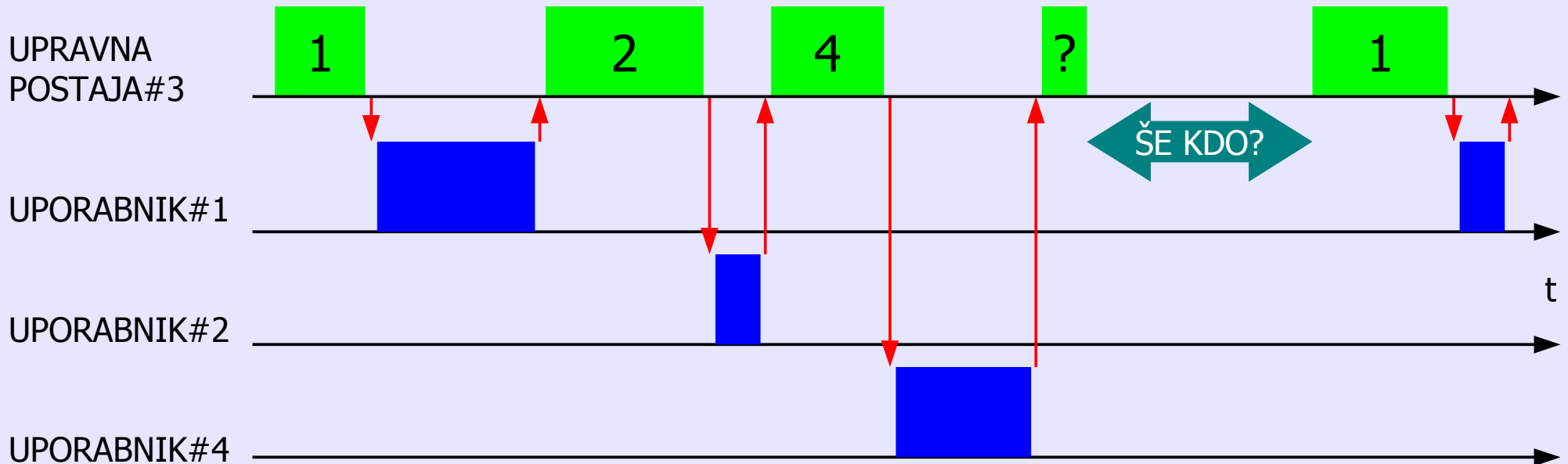
Radijsko omrežje s skrito postajo



TEKMOVALNI SODOSTOP → IZGUBE TRČENJ (ALOHA)

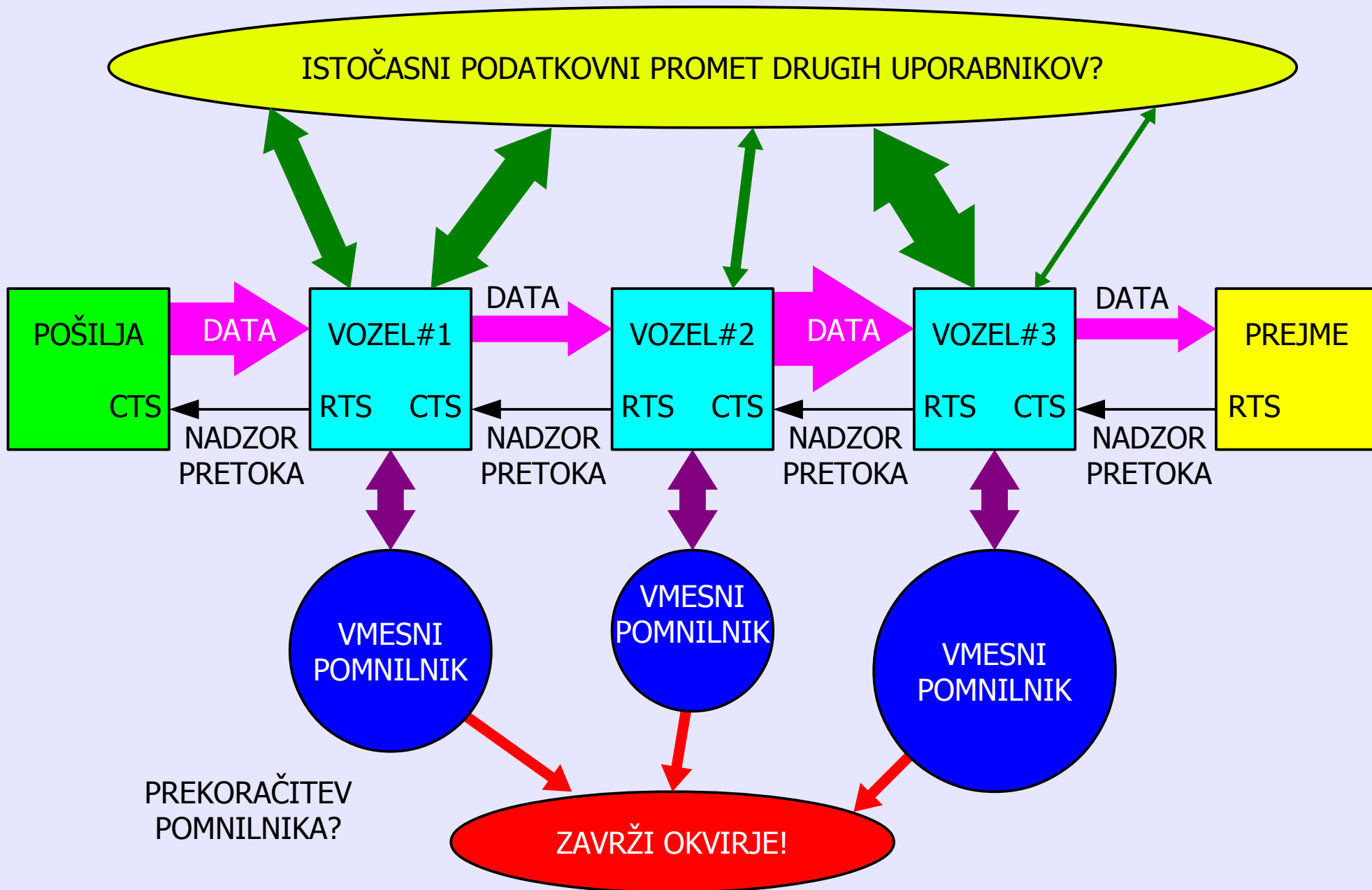


UPRAVNI SODOSTOP → (SAMO) UPRAVNA POSTAJA?



Tekmovalni in upravni sodostop

Uravnavanje pretoka v radijskem podatkovnem omrežju



POZOR! Isti kratici RTS in CTS se uporabljata tudi za radijski sodostop!