

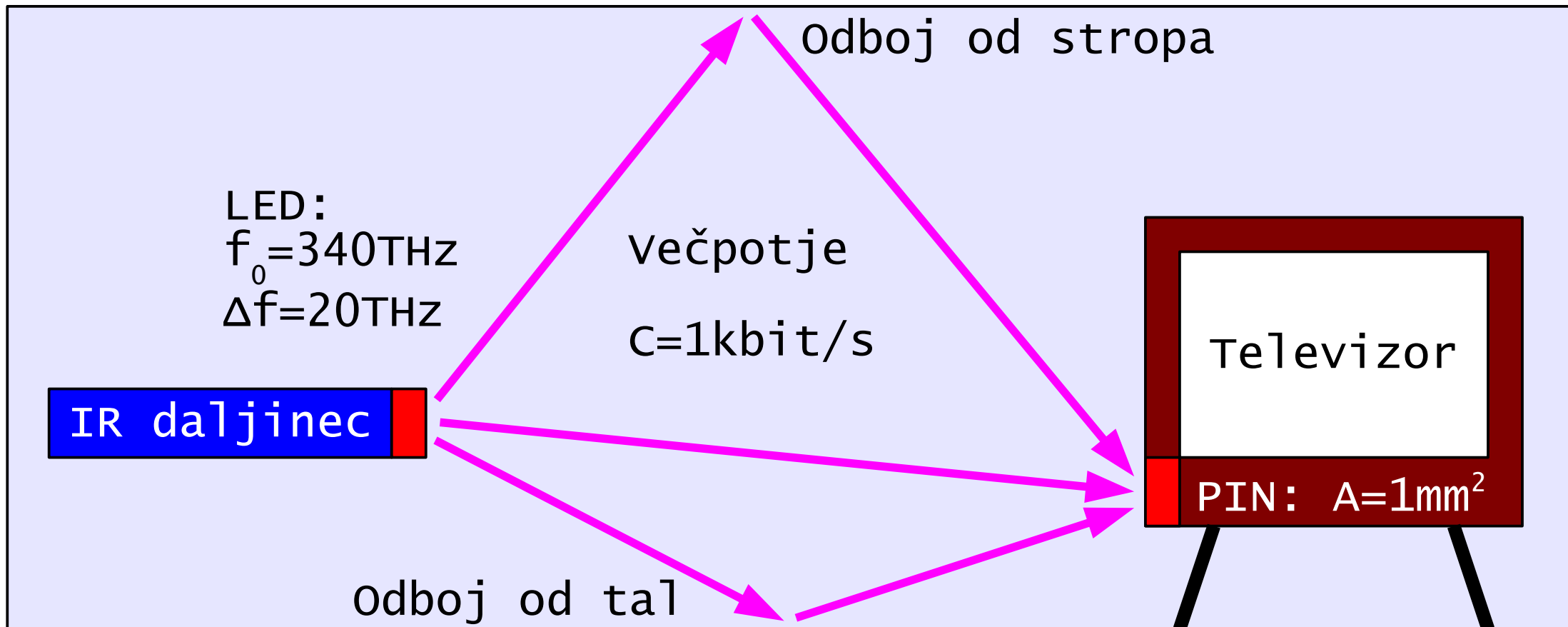
19. Seminar Optične Komunikacije  
Laboratorij za Sevanje in Optiko  
Fakulteta za Elektrotehniko  
Ljubljana, 1.-3. februar 2012

Sodobne modulacije in kodiranja

Matjaž Vidmar

..... Seznam prosojnic: .....

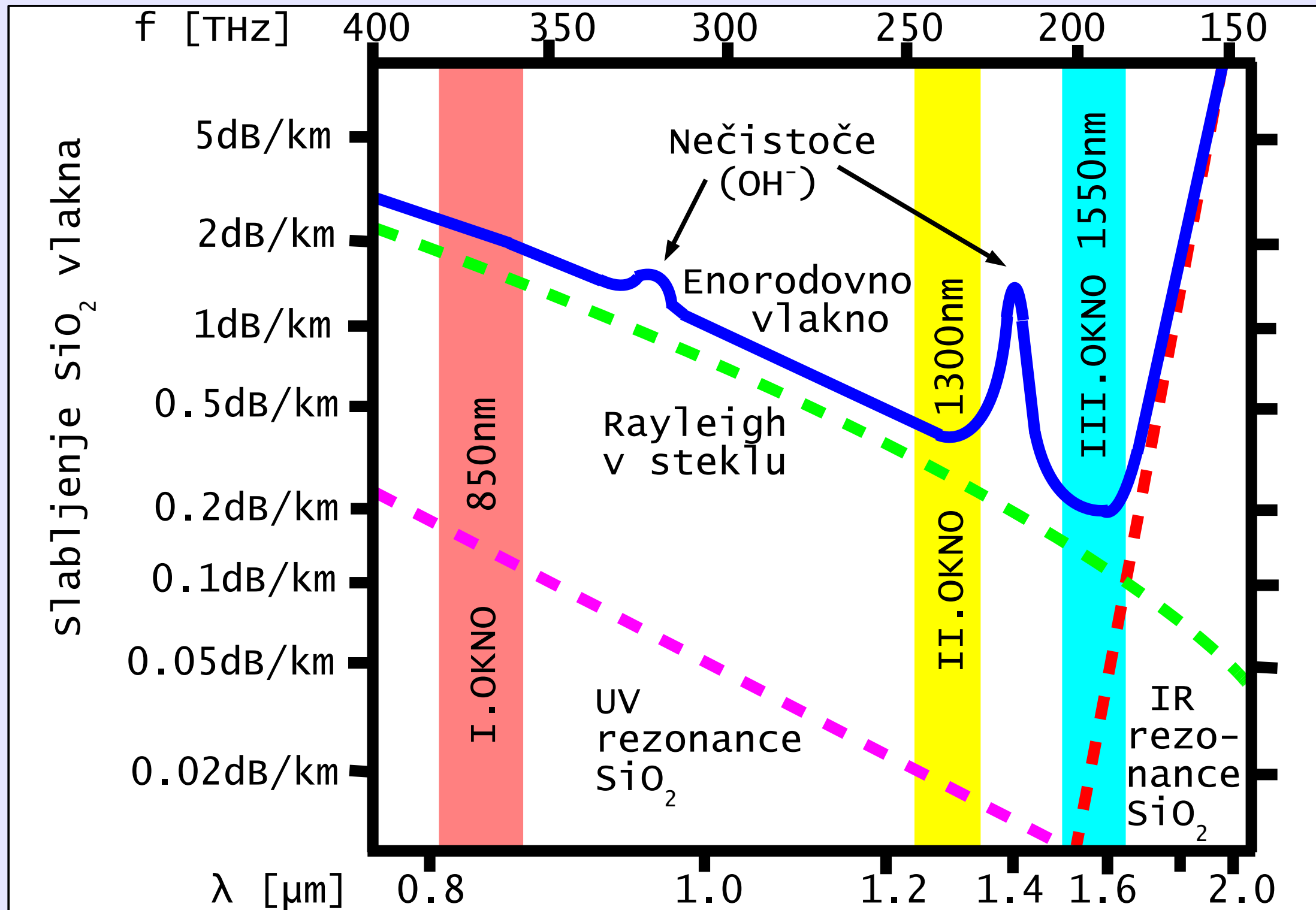
- Slika 1 - Prenosna pot TV daljinca.
- Slika 2 - Slabljenje kremenovega stekla.
- Slika 3 - Enorodovno svetlobno vlakno.
- Slika 4 - Lastnosti svetlobnih izvorov.
- Slika 5 - Zunanji svetlobni modulatorji.
- Slika 6 - Preprosta jakostna modulacija ASK.
- Slika 7 - Solitonska modulacija (RZ).
- Slika 8 - Dvofazna modulacija BPSK.
- Slika 9 - Koherentni sprejemnik (ASK ali BPSK).
- Slika 10 - Diferencialna demodulacija BPSK.
- Slika 11 - Štirifazna modulacija QPSK (QAM).
- Slika 12 - Koherentni QPSK (QAM) sprejemnik.
- Slika 13 - Polarizacijska modulacija PolSK.
- Slika 14 - QPSK (QAM) polarizacijski multipleks.
- Slika 15 - Ničelna medfrekvenca ZIF.
- Slika 16 - Pogostnost napak BER.
- Slika 17 - Vnaprejšnje popravljanje napak FEC.
- Slika 18 - Učinkovitost RS(255,239).
- Slika 19 - Trdo, z brisanjem in mehko odločanje.
- Slika 20 - Laboratorijski MIMO+OFDM poskus.
- Slika 21 - Hitri "FLASH" A/D pretvornik.
- Slika 22 - Prepletanje (interleave) A/D pretvornikov.
- Slika 23 - Zahtevnost obdelave OFDM+MIMO2x2.
- Slika 24 - Različice 100Gbit/s optičnih zvez.



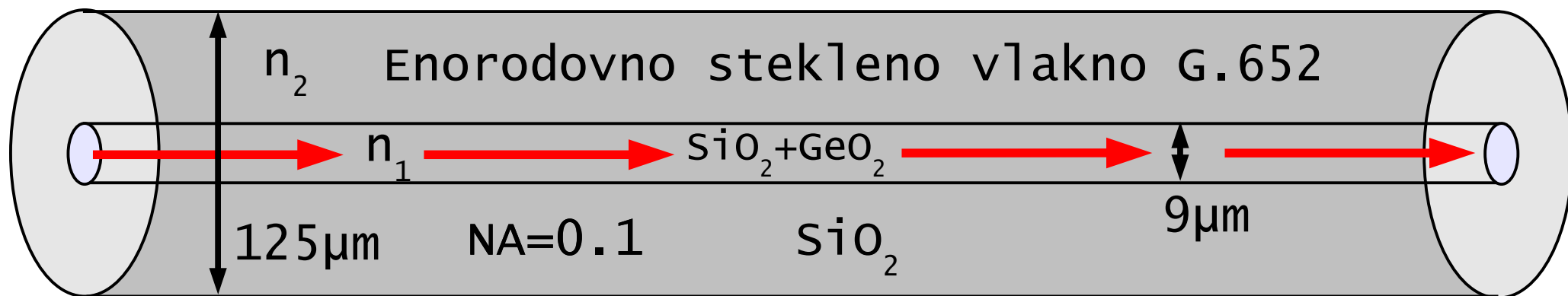
Izločanje presiha pri TV daljincu:

1) Razširjeni spekter:  
 $\Delta f = 20\text{THz} \gg C = 1\text{kbit/s}$  ( $\approx 30$  let pred UMTS)

2) Raznoliki sprejem:  
 $A = 1\text{mm}^2 \approx 10^6 \lambda^2 \approx 10^6$  anten ( $\gg 5$  prstov UMTS)



2 - slabljenje kremenovega stekla.



Cena  $\approx 20$  euro/km (2000 euro za 100km vlakna)

Slabljenje  $a/l \approx 0.2 \text{ dB/km}$  @  $\lambda = 1550 \text{ nm}$  ( $f = 194 \text{ THz}$ )

Pasovna širina  $B \approx 4 \text{ THz}$  @  $\lambda = 1550 \text{ nm}$  (nizko slabljenje)

Osnovni rod  $\text{HE}_{11}$  dvakrat izrojen (PMD, 2xC?)

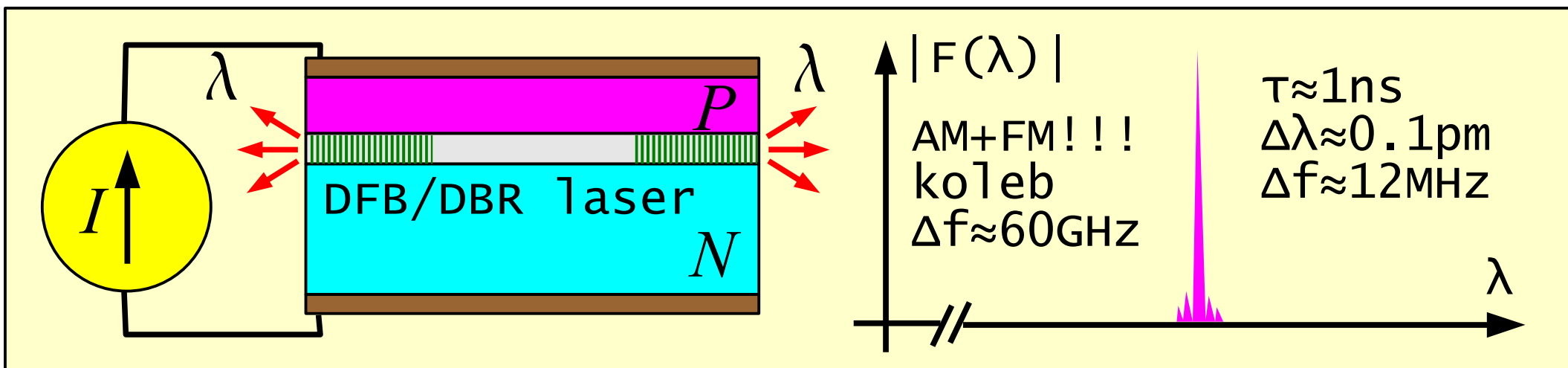
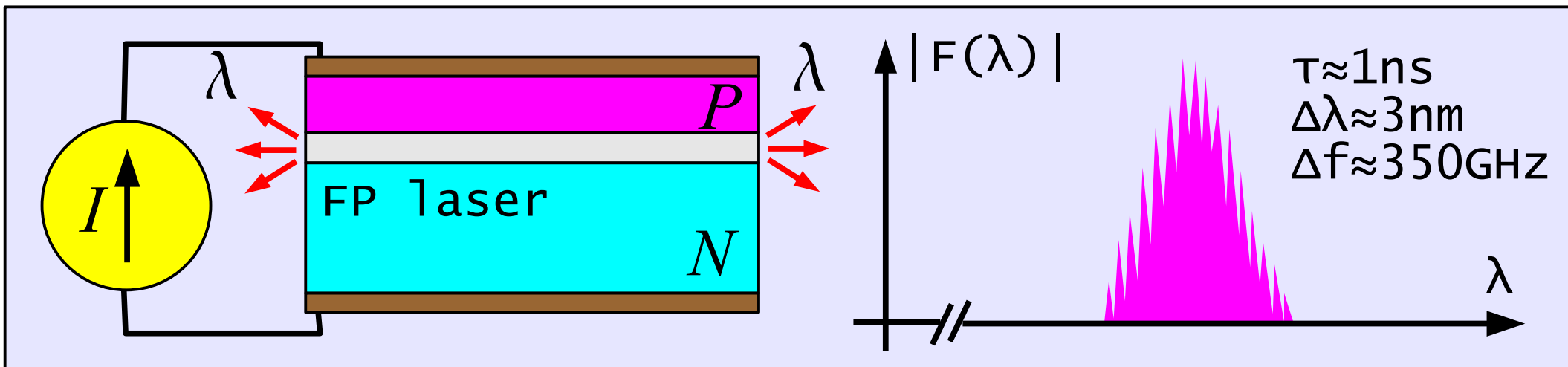
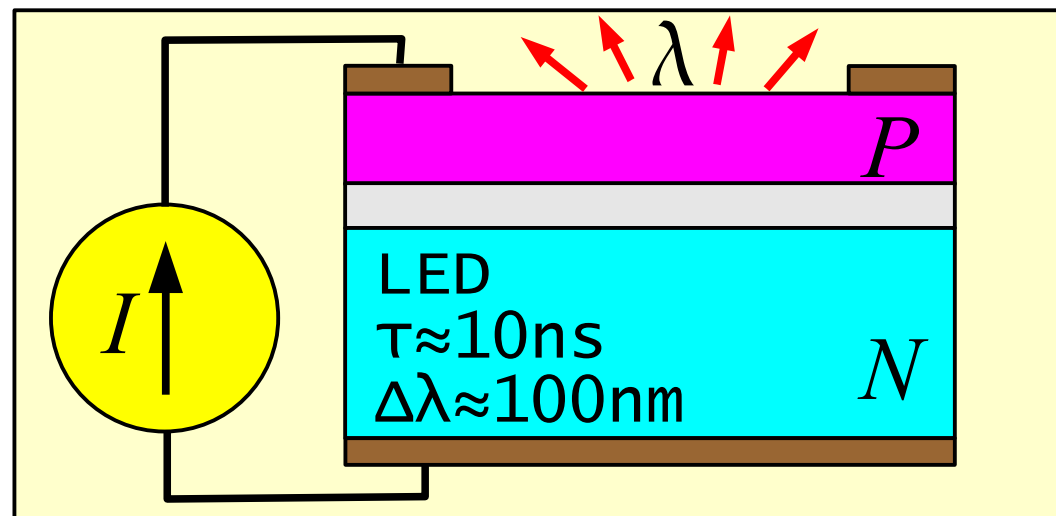
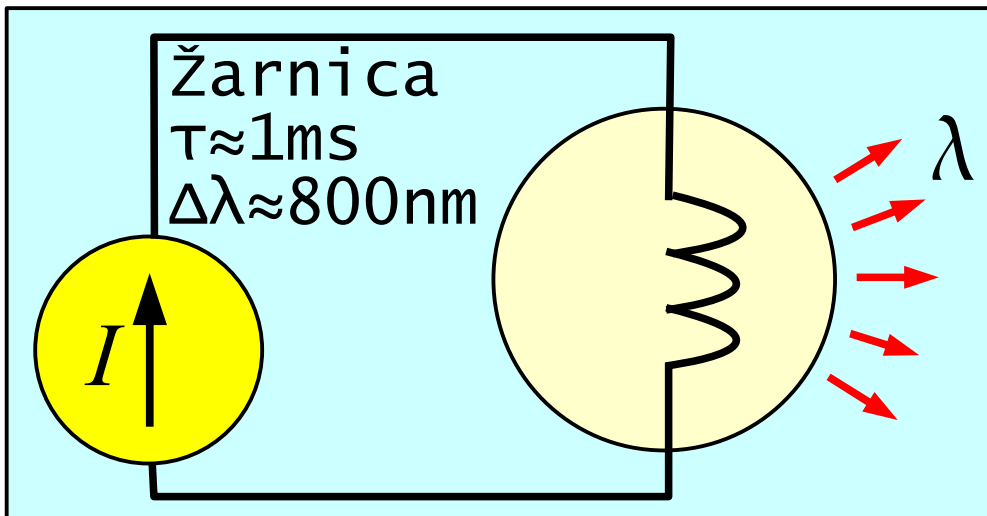
Snovna in valovodna barvna razpršitev  $D = 17 \text{ ps/nm.km}$

Svetlobna moč  $P_{\text{max}} \leq 100 \text{ mW} = +20 \text{ dBm}$  (nelinearni pojavi)

Zrnati (kvantni) šum  $P_N = h \cdot f \cdot B \approx -33 \text{ dBm}$

Domet zveze  $l = 100 \text{ km} \rightarrow a = 20 \text{ dB} \rightarrow P_s = +0 \text{ dBm}$

Teoretska zmogljivost  $C \approx 44 \text{ Tbit/s}$  (polarizacija 2xC?)

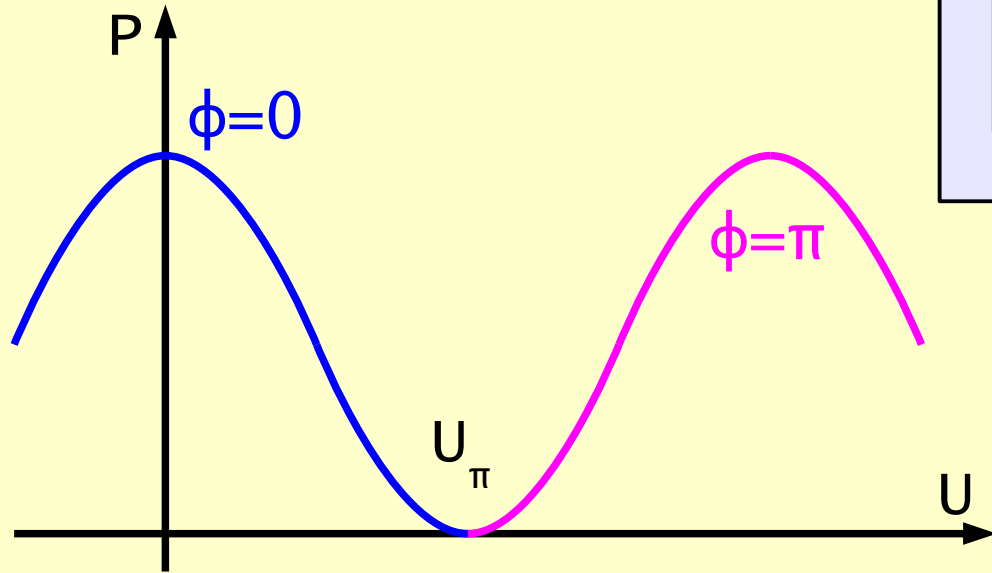


4 - Lastnosti svetlobnih izvorov.

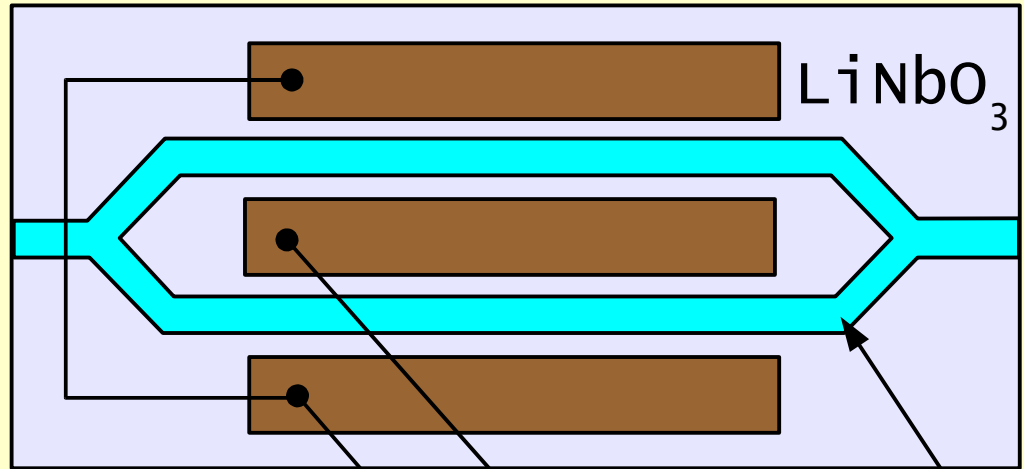
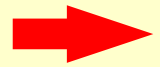
Amplicitudni MZM:

$B=10\text{GHz}$

$a_{\text{ugasno}}=25\text{dB}$



vhod

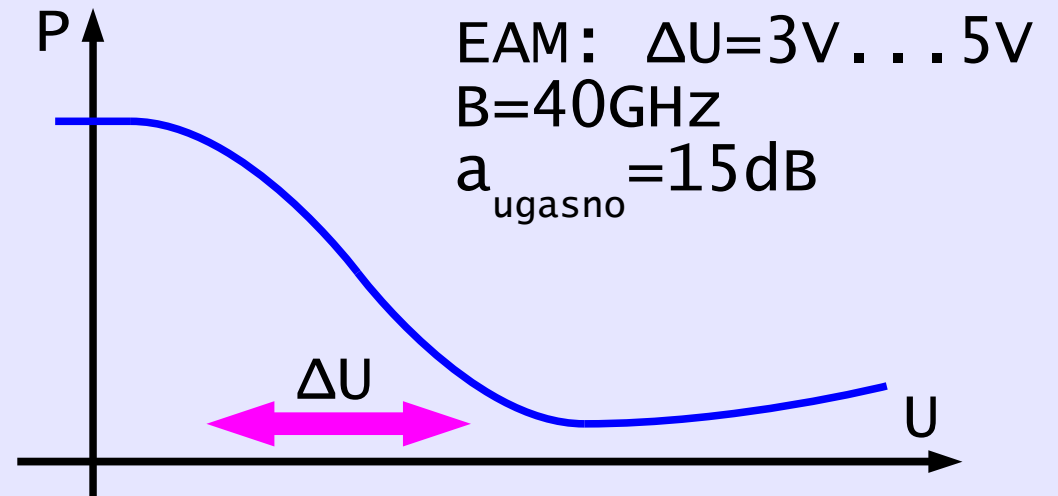
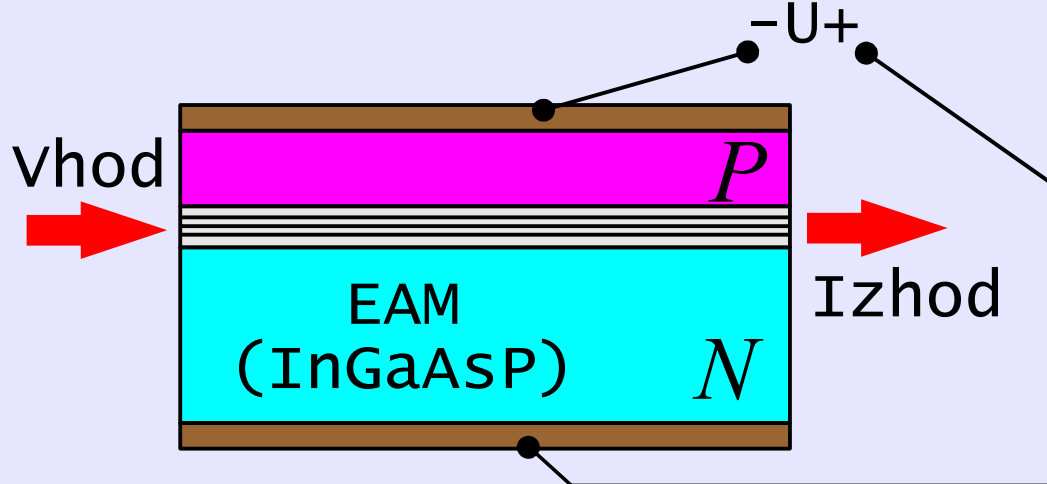


Izhod

$\text{LiNbO}_3:\text{Ti}$

$\text{LiNbO}_3$ :  $U_{\pi\text{TE}} \approx 5\text{V}$   $U_{\pi\text{TM}} \approx 14\text{V}$

$\text{GaAs}$ :  $U_{\pi} = 2\text{V} \dots 4\text{V}$



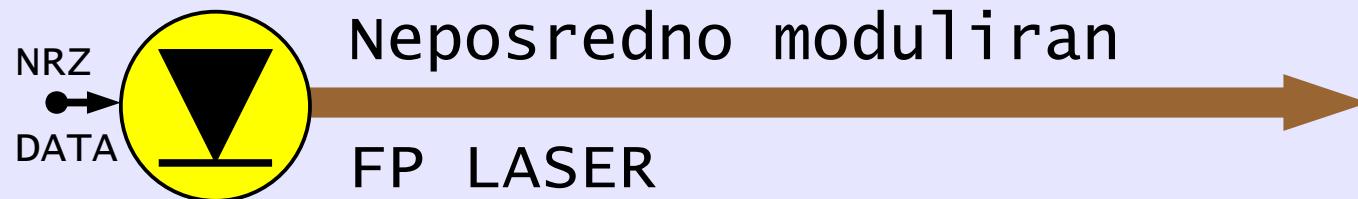
EAM:  $\Delta U = 3\text{V} \dots 5\text{V}$

$B=40\text{GHz}$

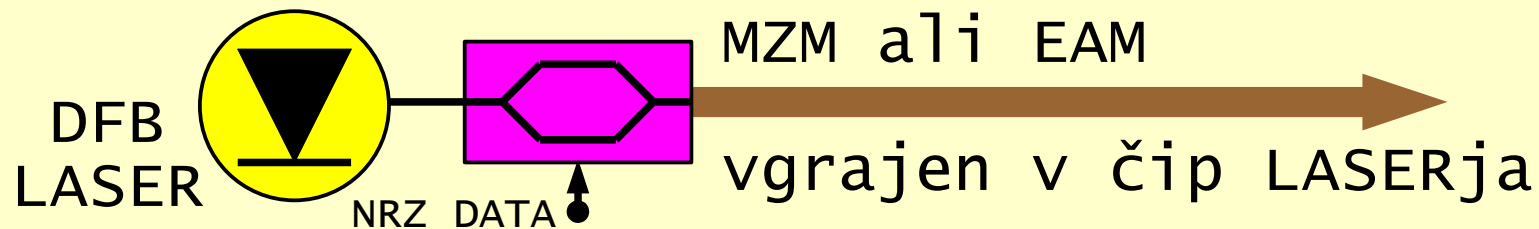
$a_{\text{ugasno}}=15\text{dB}$

5 - zunanji svetlobni modulatorji.

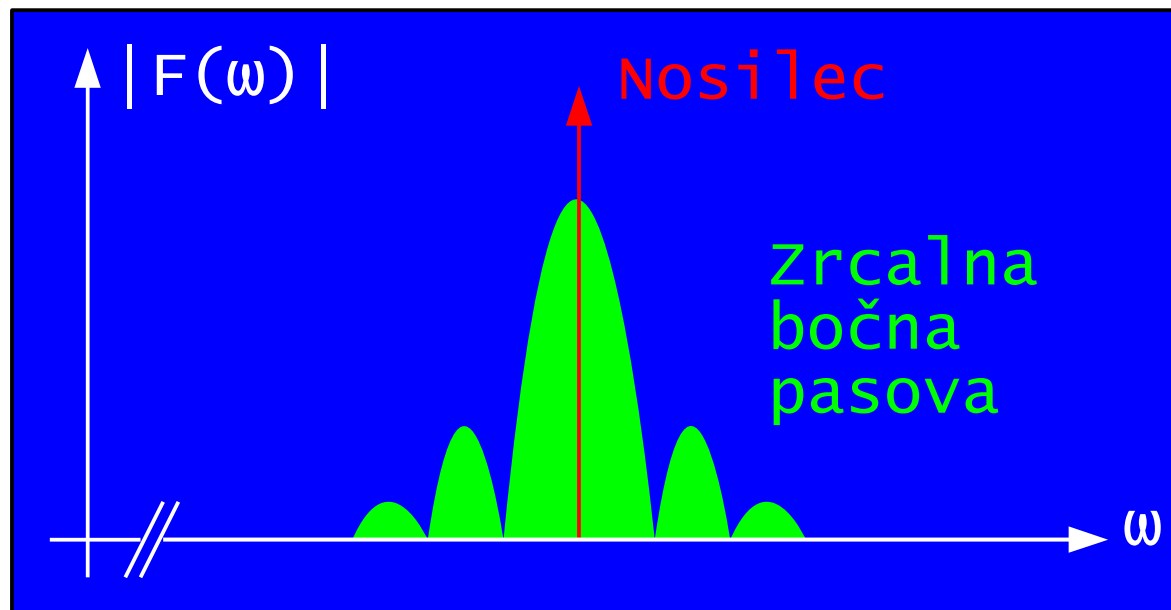
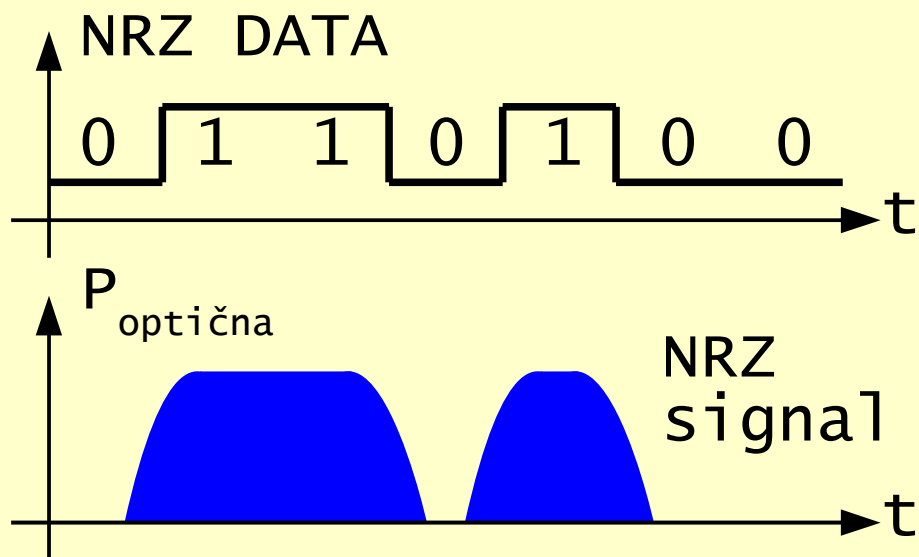
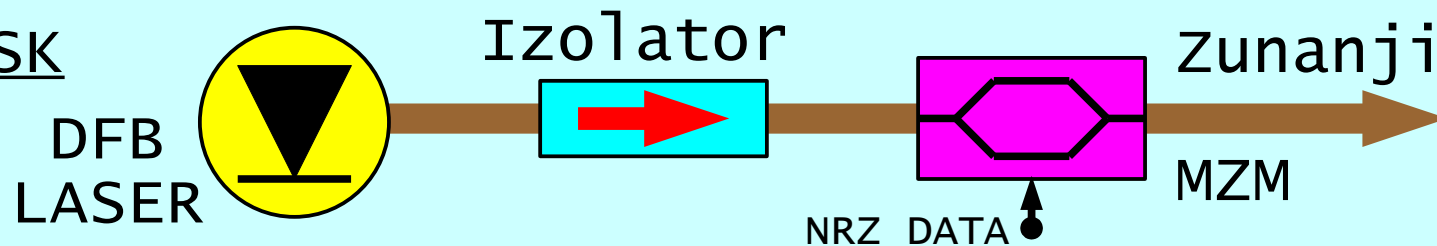
Dostopovni ASK  
(spekter nepomemben)



Medkrajevni ASK  
(maľo FM)

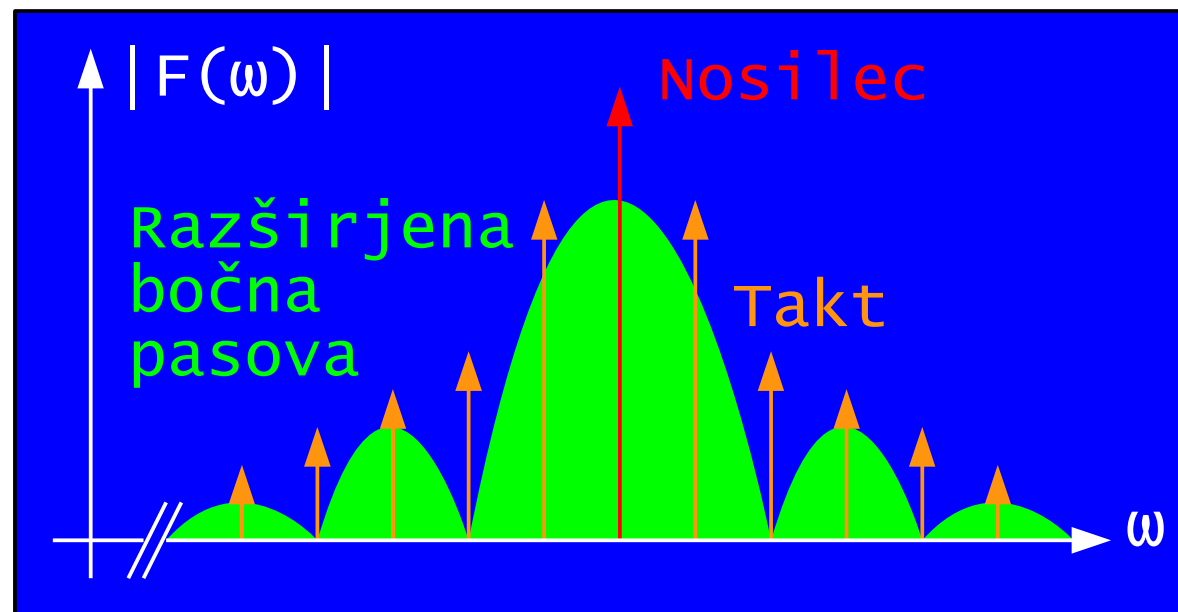
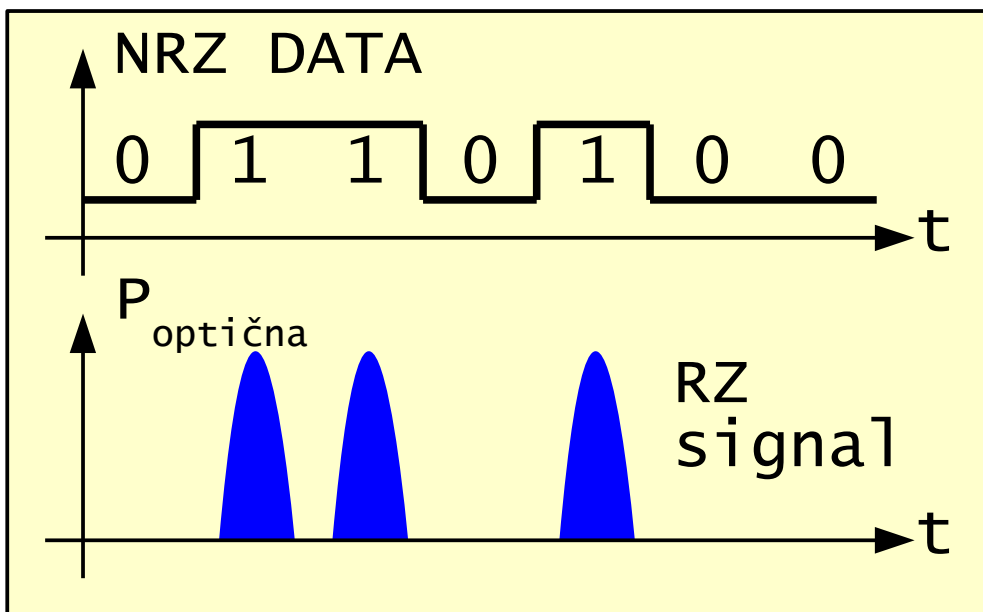
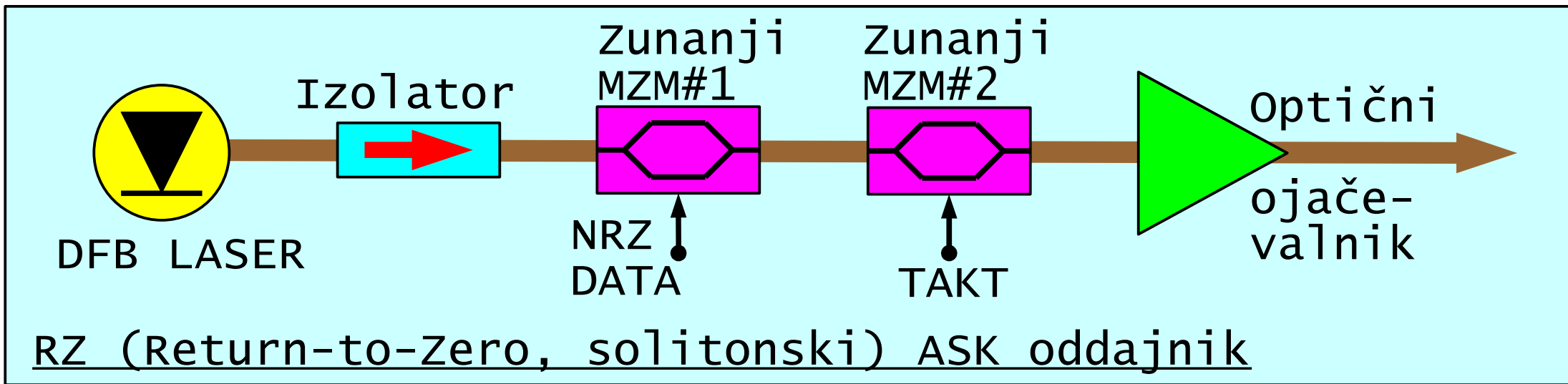


Prekooceanski ASK  
(brez FM)



6 - Preprosta jakostna modulacija ASK.

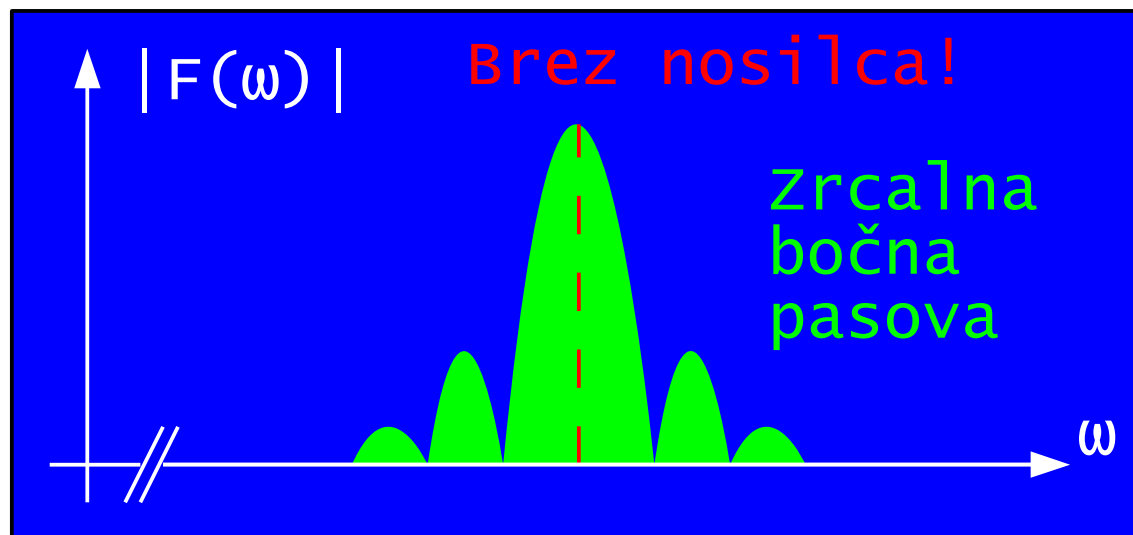
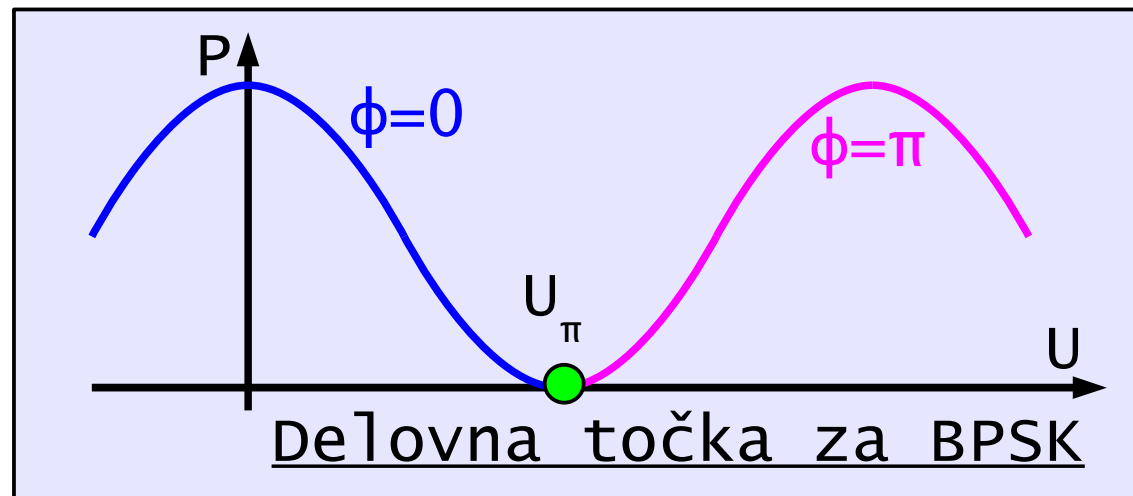
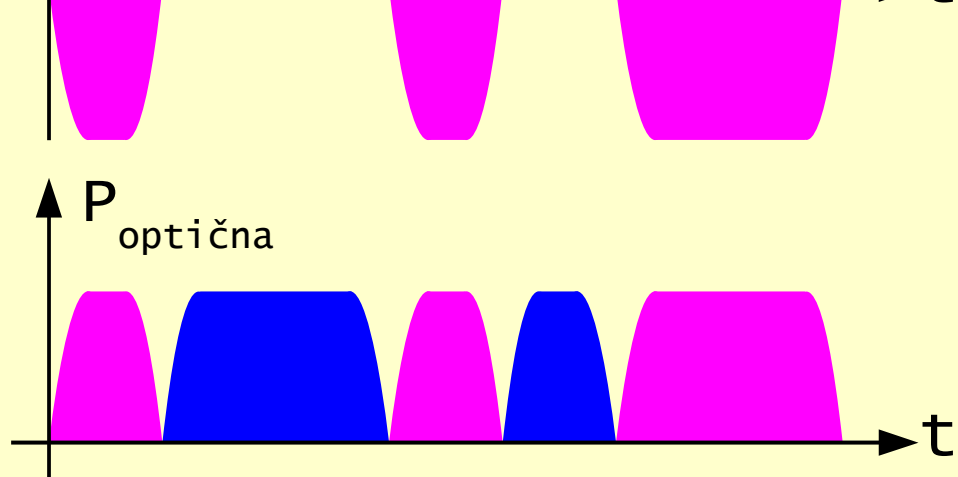
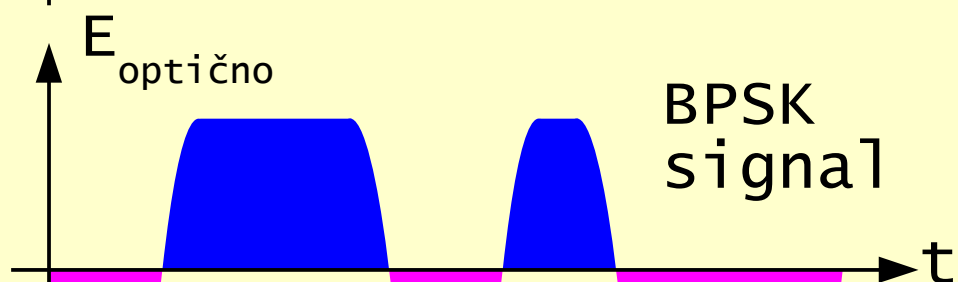
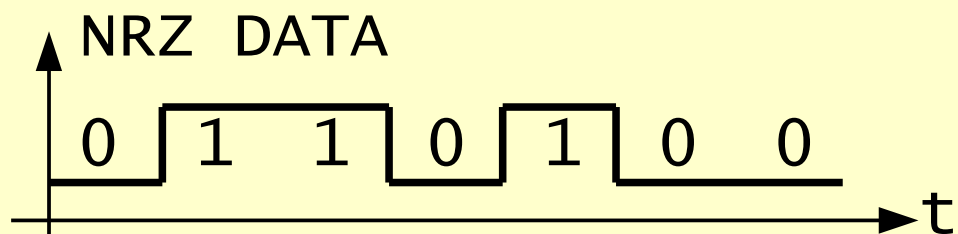
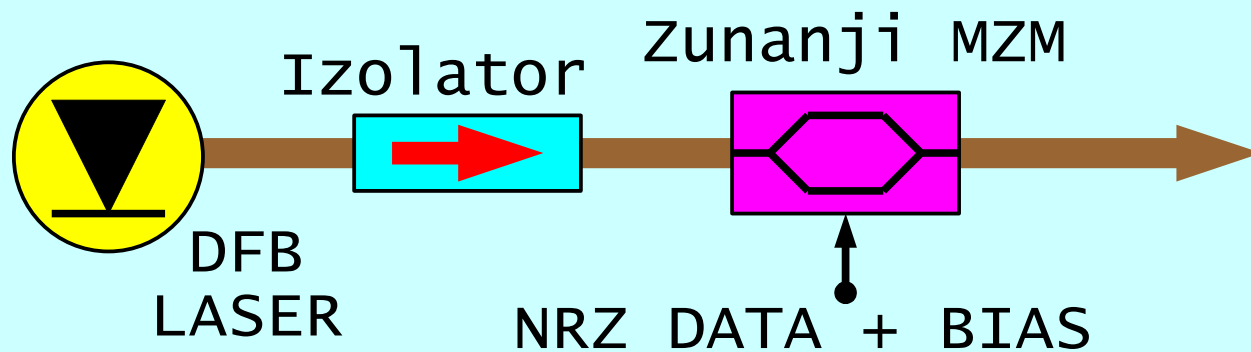


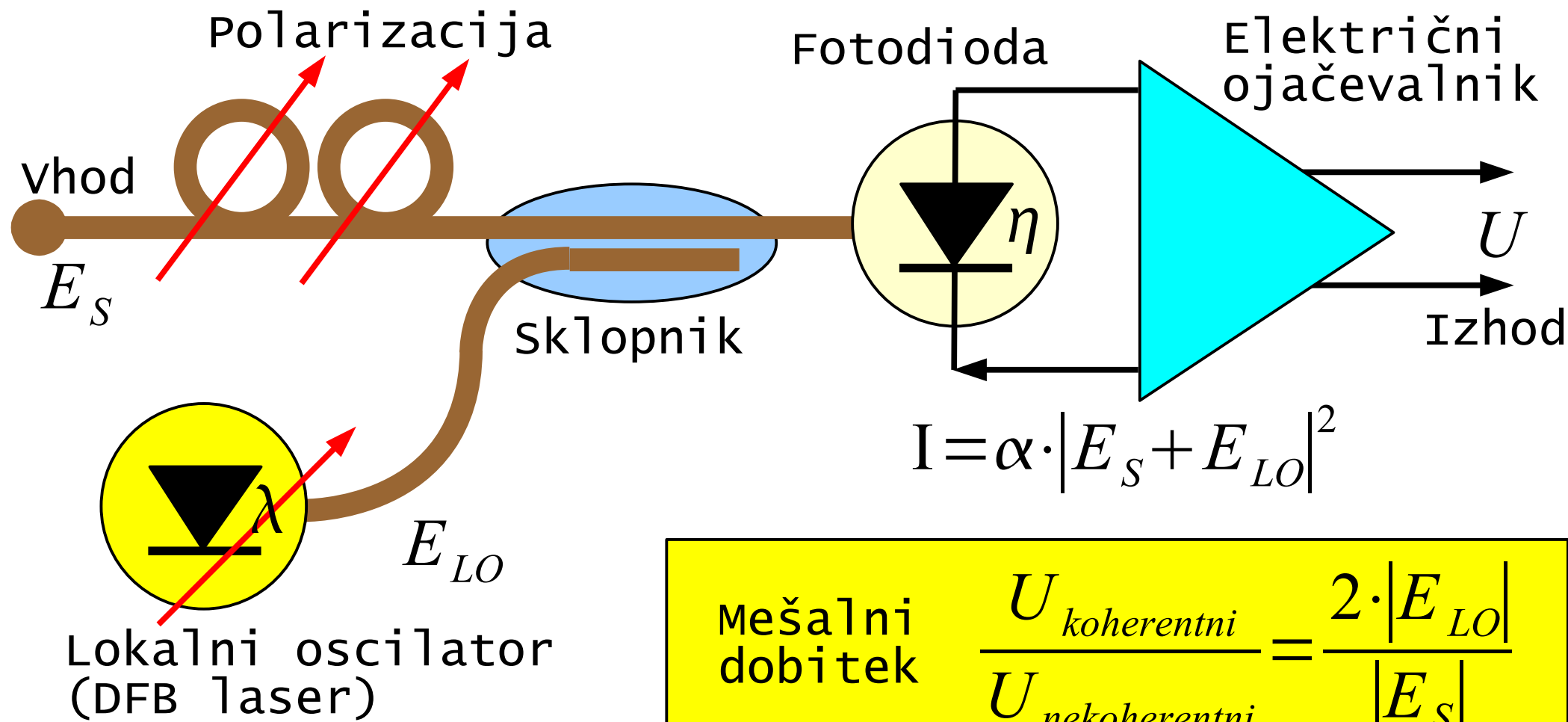


Namen: kompenzacija linearnih in nelinearnih popačenj pri najzahtevnejših visokozmogljivih zvezah.  
 Velika vlaganja v razvoj, danes brez praktične uporabe.  
 Stranski rezultat: razvoj simulacijskih orodij.

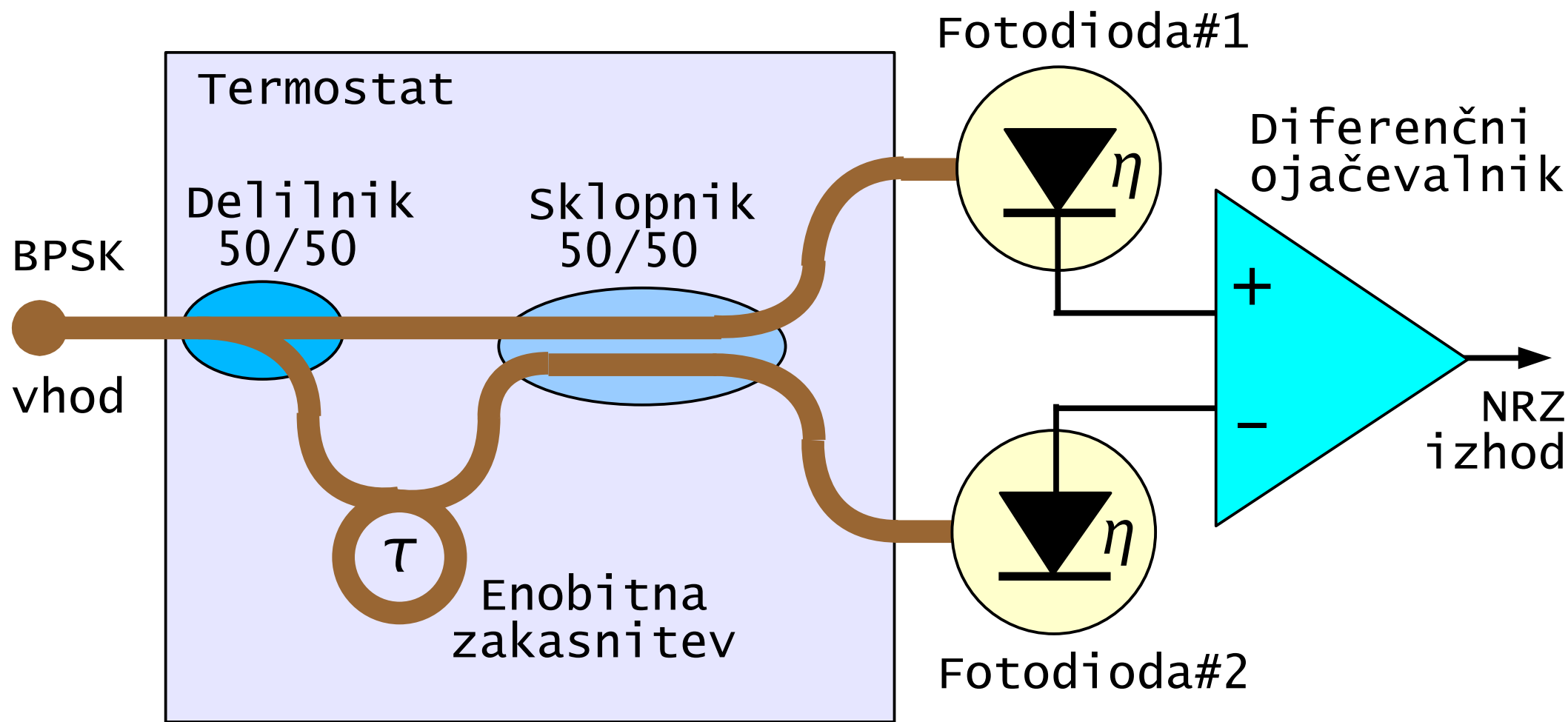
# Simetrični BPSK (AM brez nosilca)

Strogo brez FM !!!  
 $\Delta f_{vira} \ll B_{modulacije}$





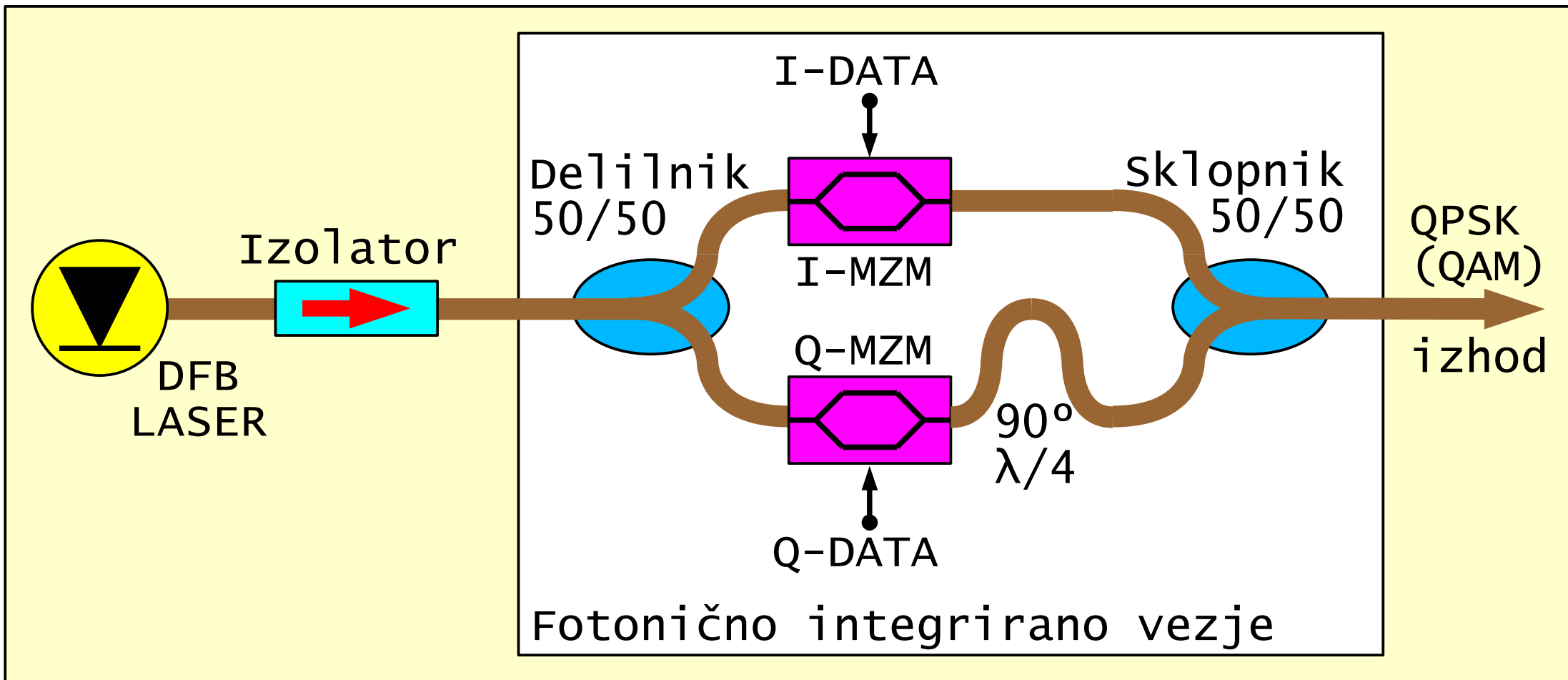
1. težava: nadzor polarizacije sprejetega signala?
2. težava: frekvenca in faza lokalnega oscilatorja?



- (1) Neodvisen od polarizacije
- (2) -3dB S/N !!!

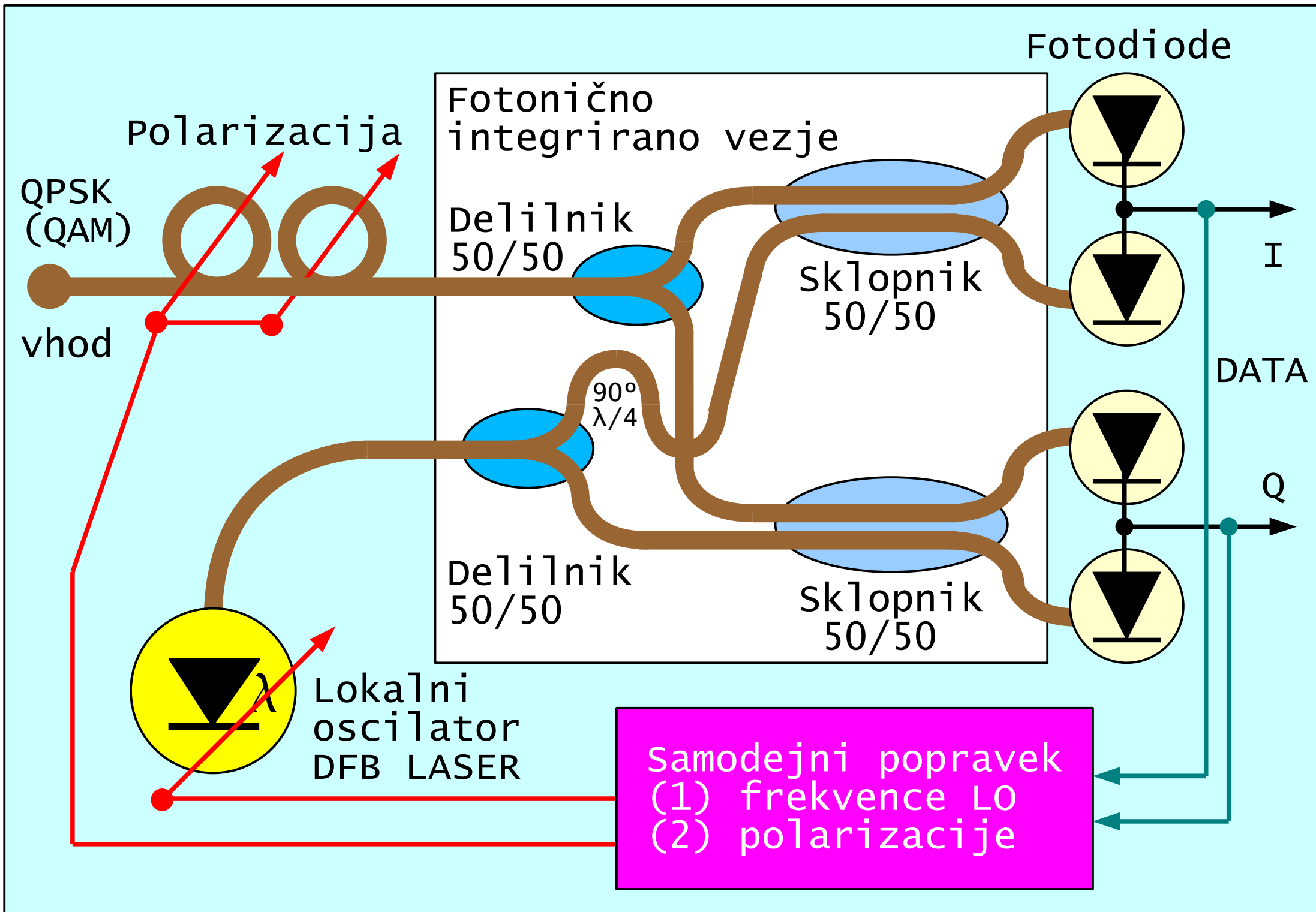
Zahteva za točnost svetlobnega nosilca:  $\Delta f \leq \frac{C}{10}$

$C = 40 \text{ Gb/s} \rightarrow \Delta f \leq 4 \text{ GHz}$

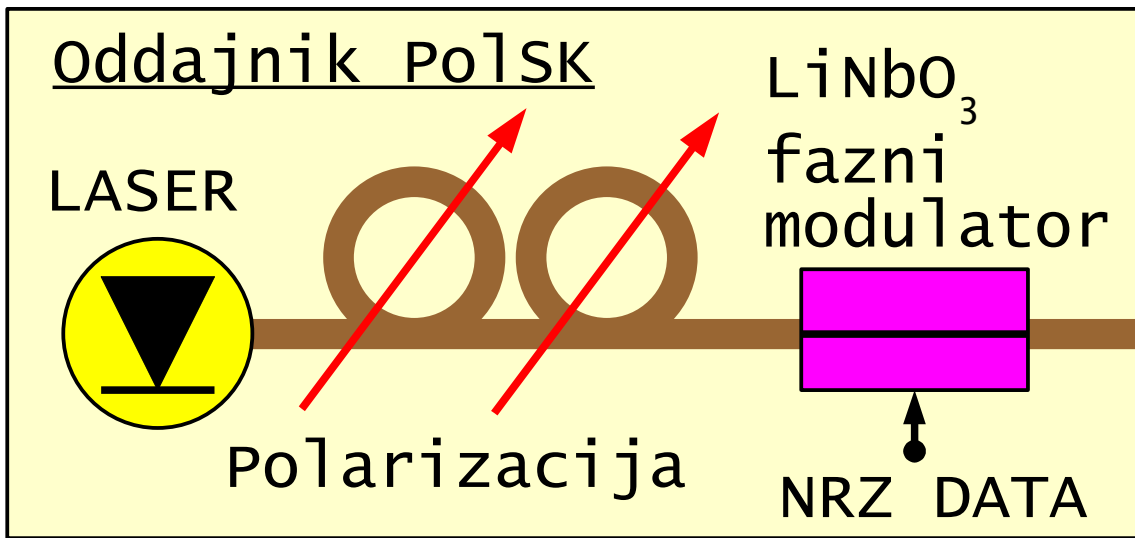


Lastnost QPSK: neodvisna bočna pasova: dvakratna spektralna učinkovitost glede na ASK ali BPSK!

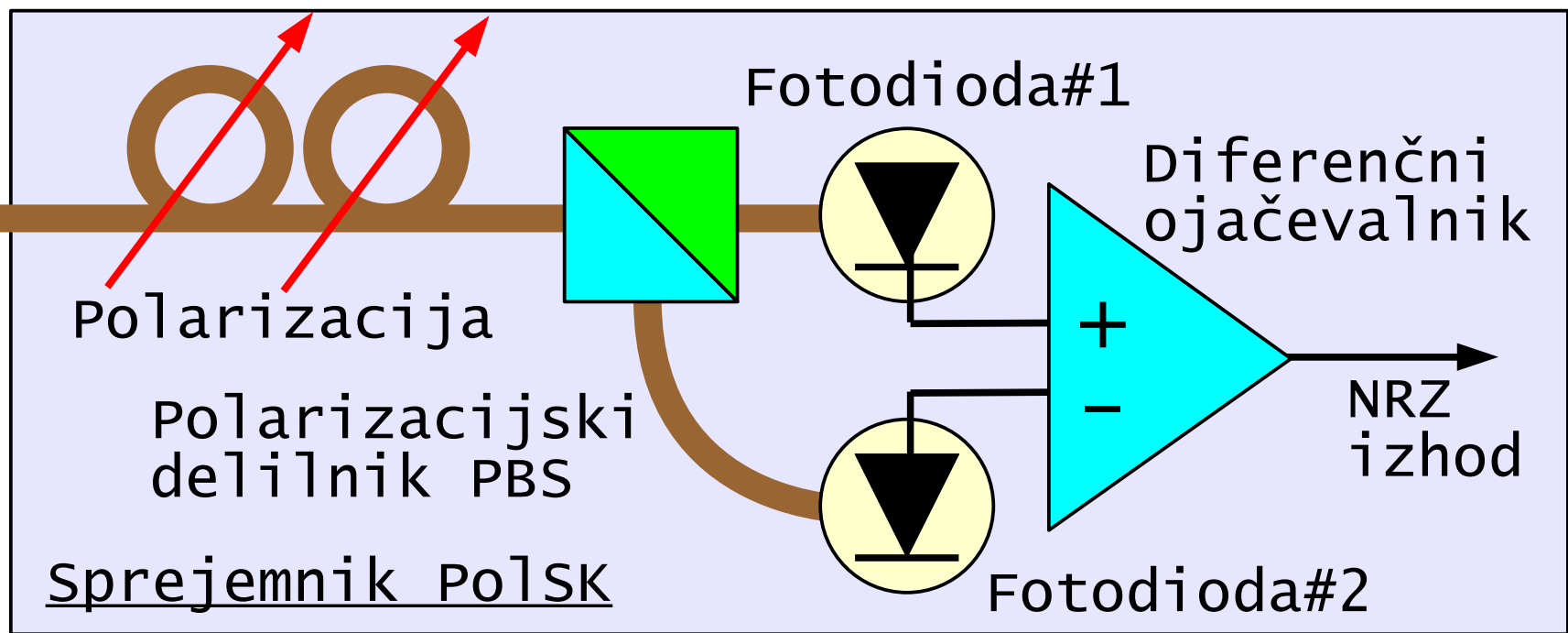
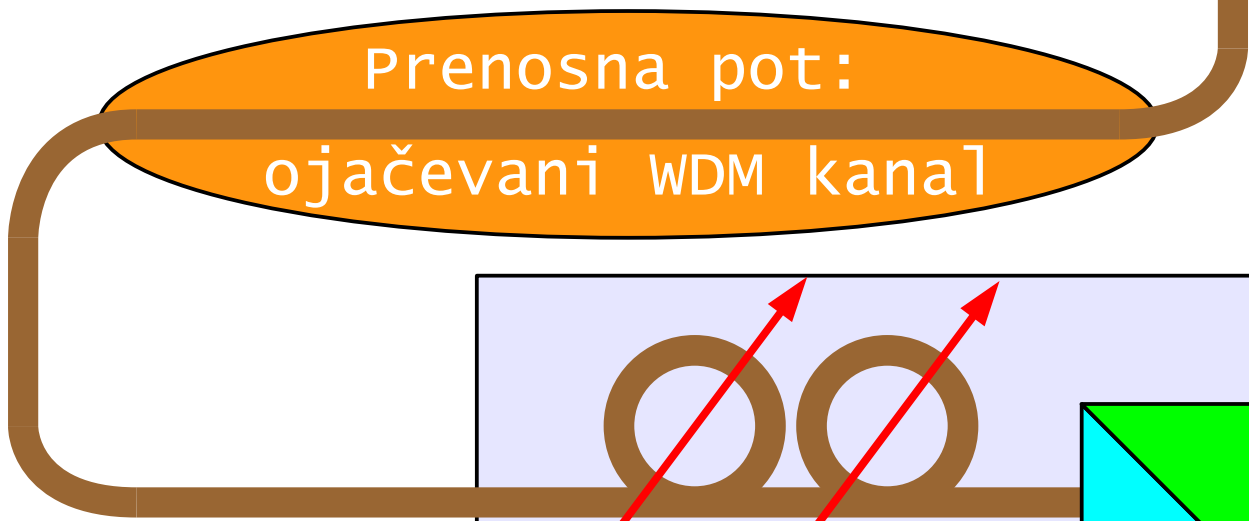
Učinkovita modulacija za radijske in (bodoče) optične zveze.



12 - Koherentni QPSK (QAM) sprejemnik.



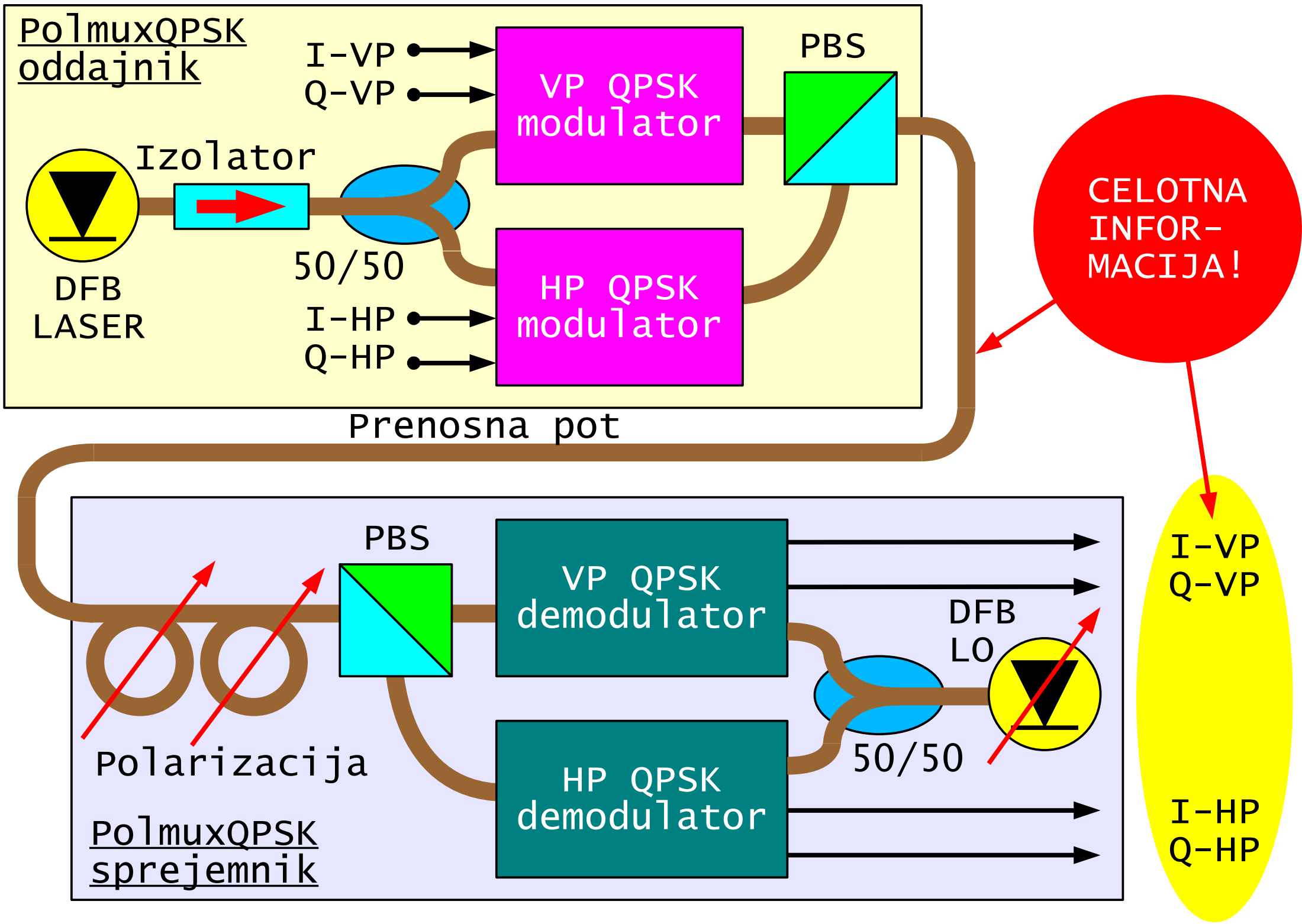
- Lastnosti Po1SK:
- (1) učinkovitost BPSK
  - (2) preprost TX
  - (3) nekoherenten RX
  - (4) odporna na določene pojave prenosne poti



Kodiranje:

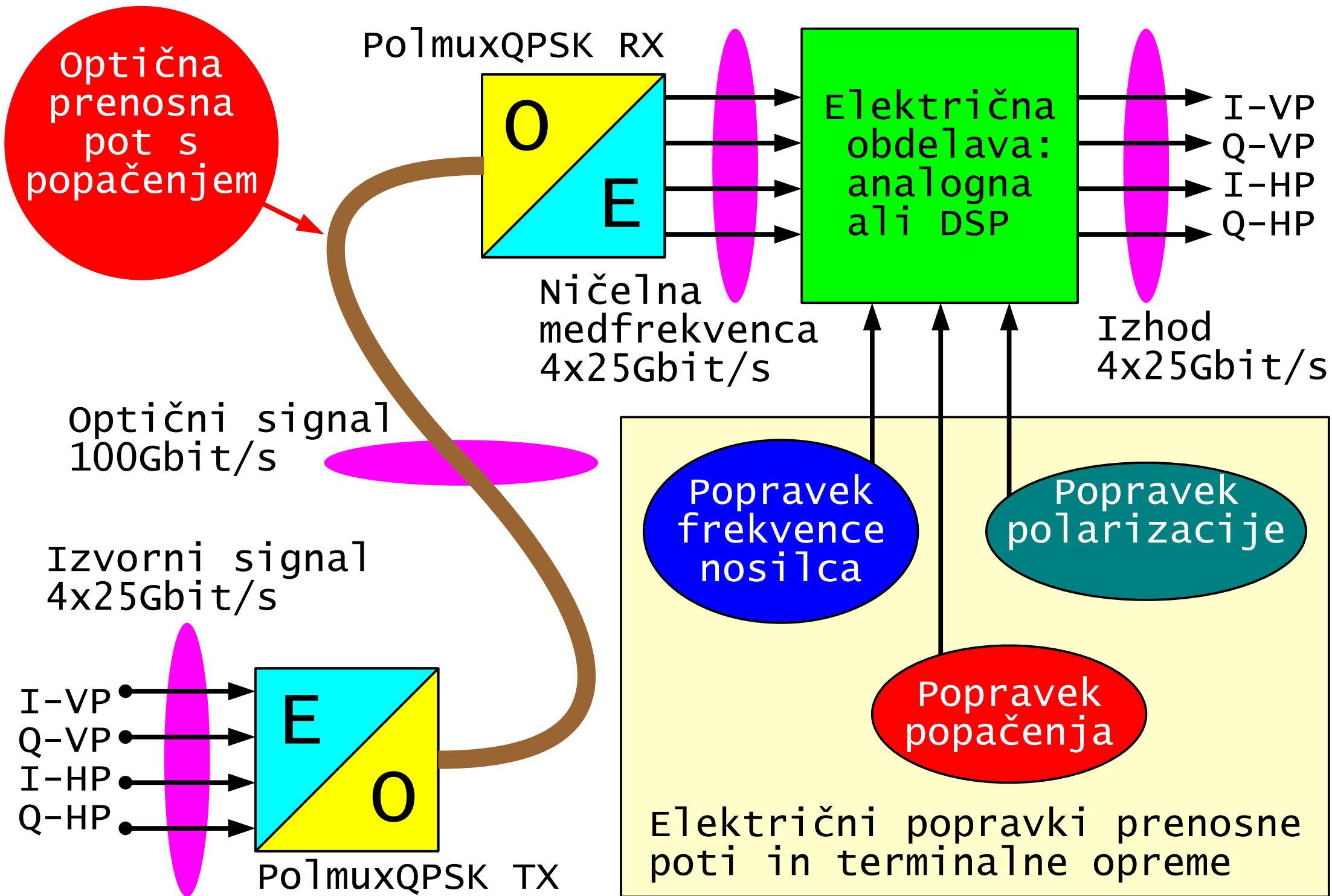
"1" = VP

"0" = HP

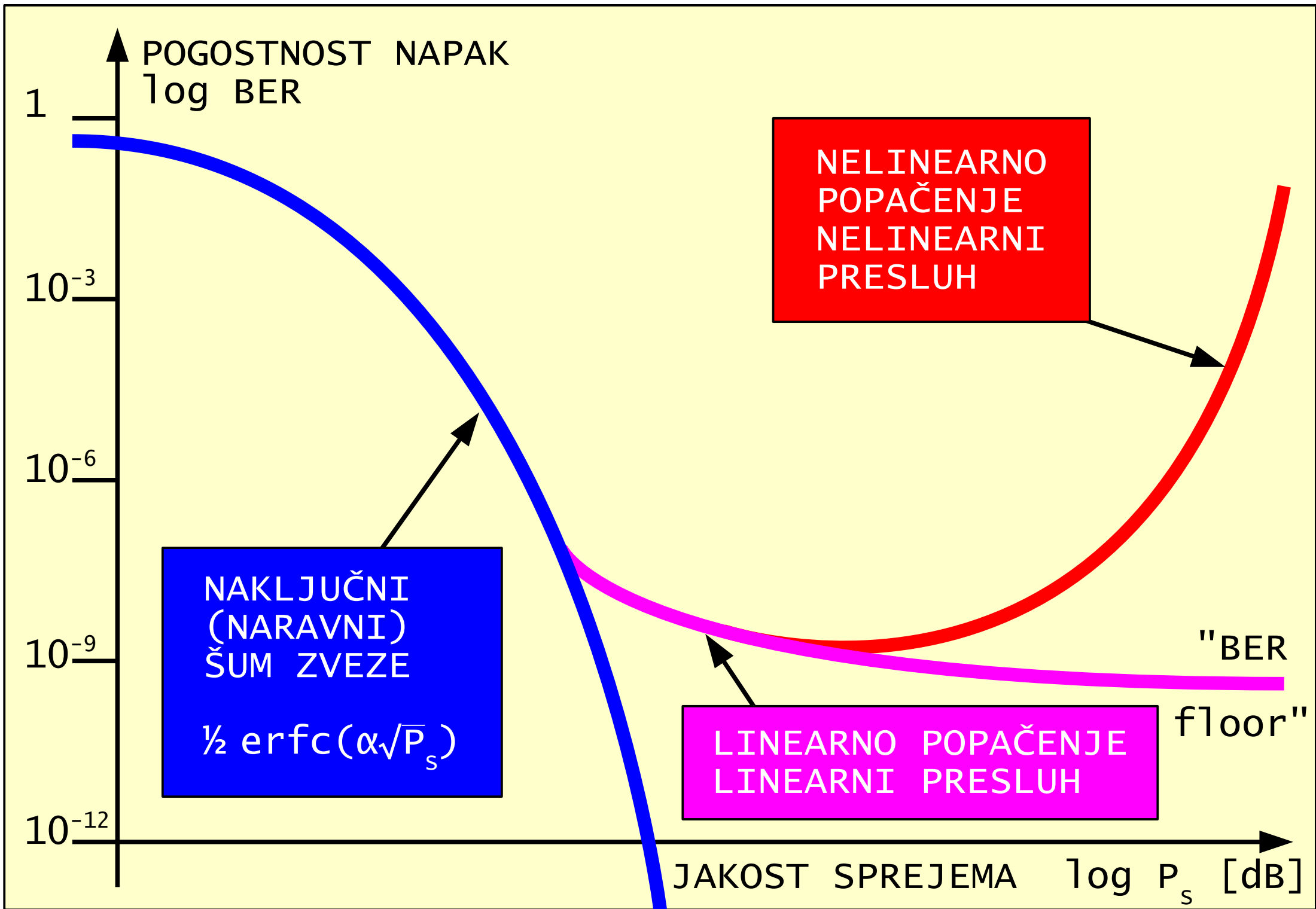


14 - QPSK (QAM) polarizacijski multipleks.

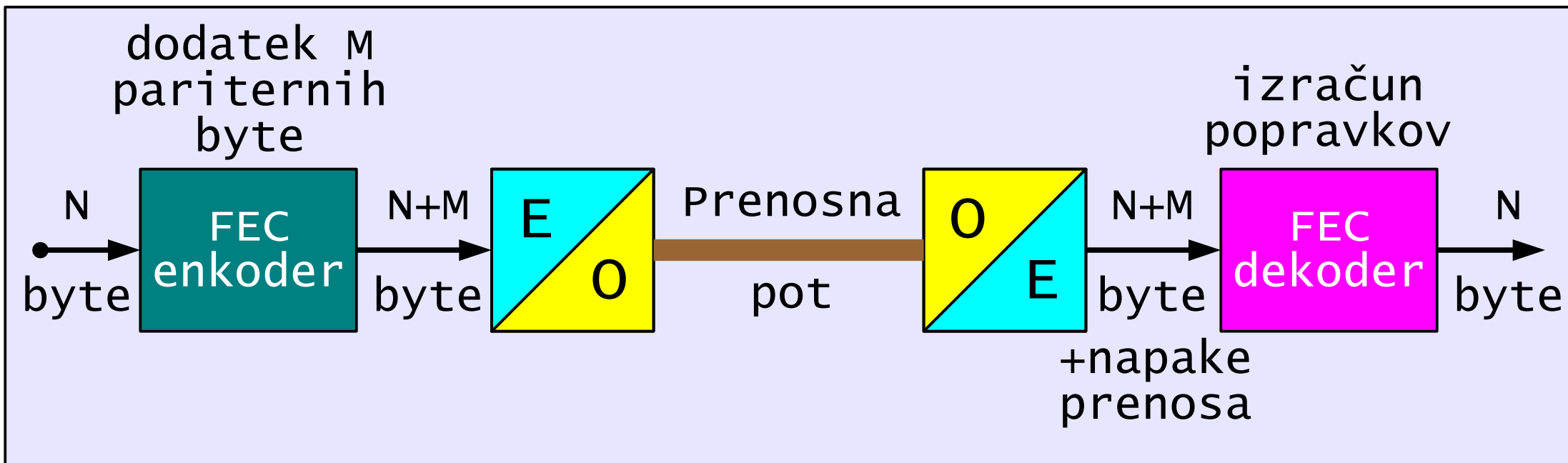




15 - Ničelna medfrekvenca ZIF.



16 - Pogostnost napak BER.



WDM kanal: omejena pasovna širina je zelo dragocena!  
 Goste (konvolucijske) kode  $M \approx N$  so preveč potratne!  
 Redke (blokove RS) kode  $M \ll N$  so primerne za uporabo!

Zgledi blokovnih kod Reed-Solomon: (trdo odločanje)

RS(255,247)  $N=247$   $M=8$  kodni dobitok  $\approx +5\text{dB}$

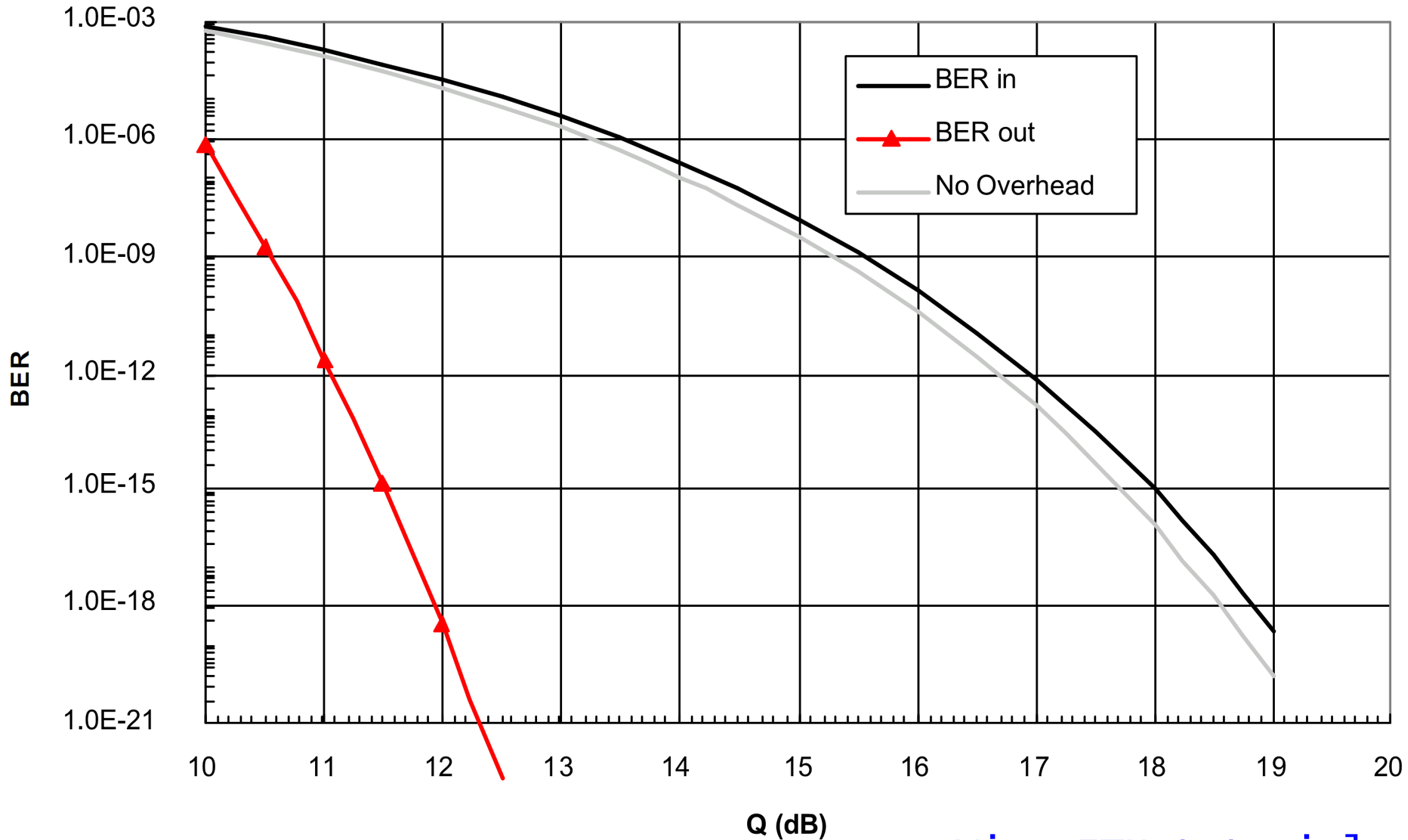
RS(255,239)  $N=239$   $M=16$  kodni dobitok  $\approx +6\text{dB}$  ITU G.709

RS(255,223)  $N=223$   $M=32$  kodni dobitok  $\approx +7\text{dB}$

17 - vnaprejšnje popravljanje napak FEC.

# BER vs Q for R-S 255 Code (t = 8)

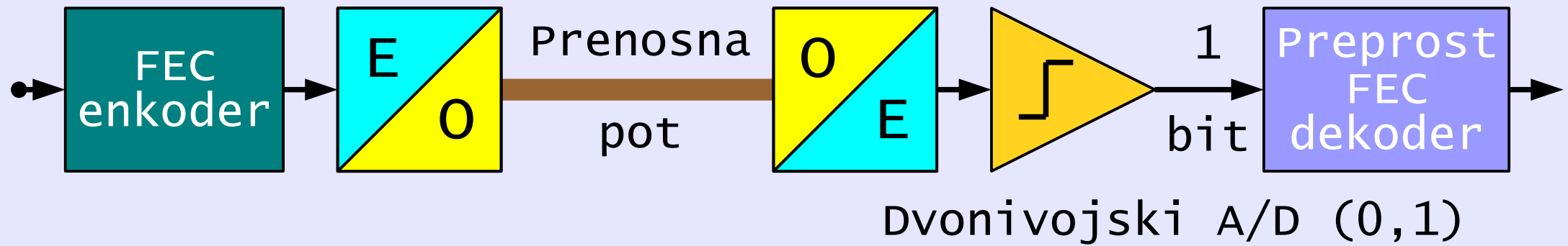
HDD = Hard-Decision Decoder = trdo odločanje



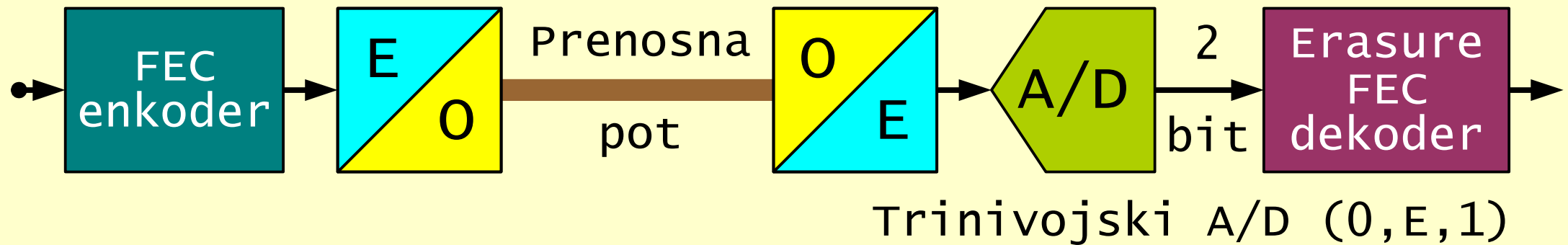
vir: ITU tutorials

18 - učinkovitost RS(255,239).

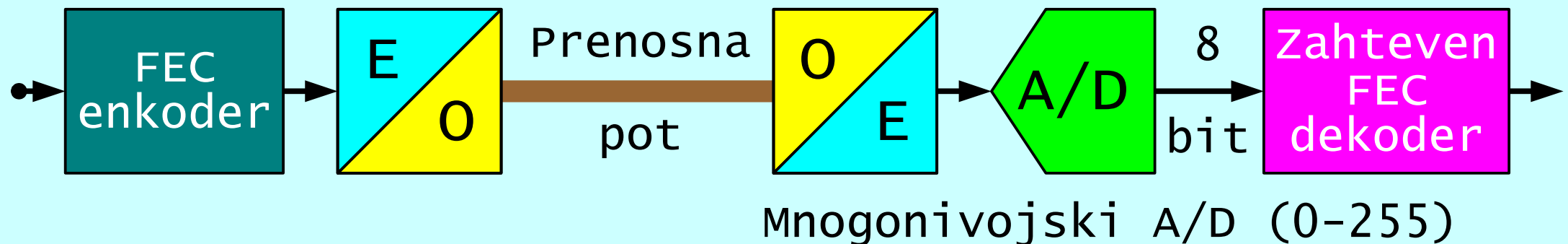
## Trdo odločanje

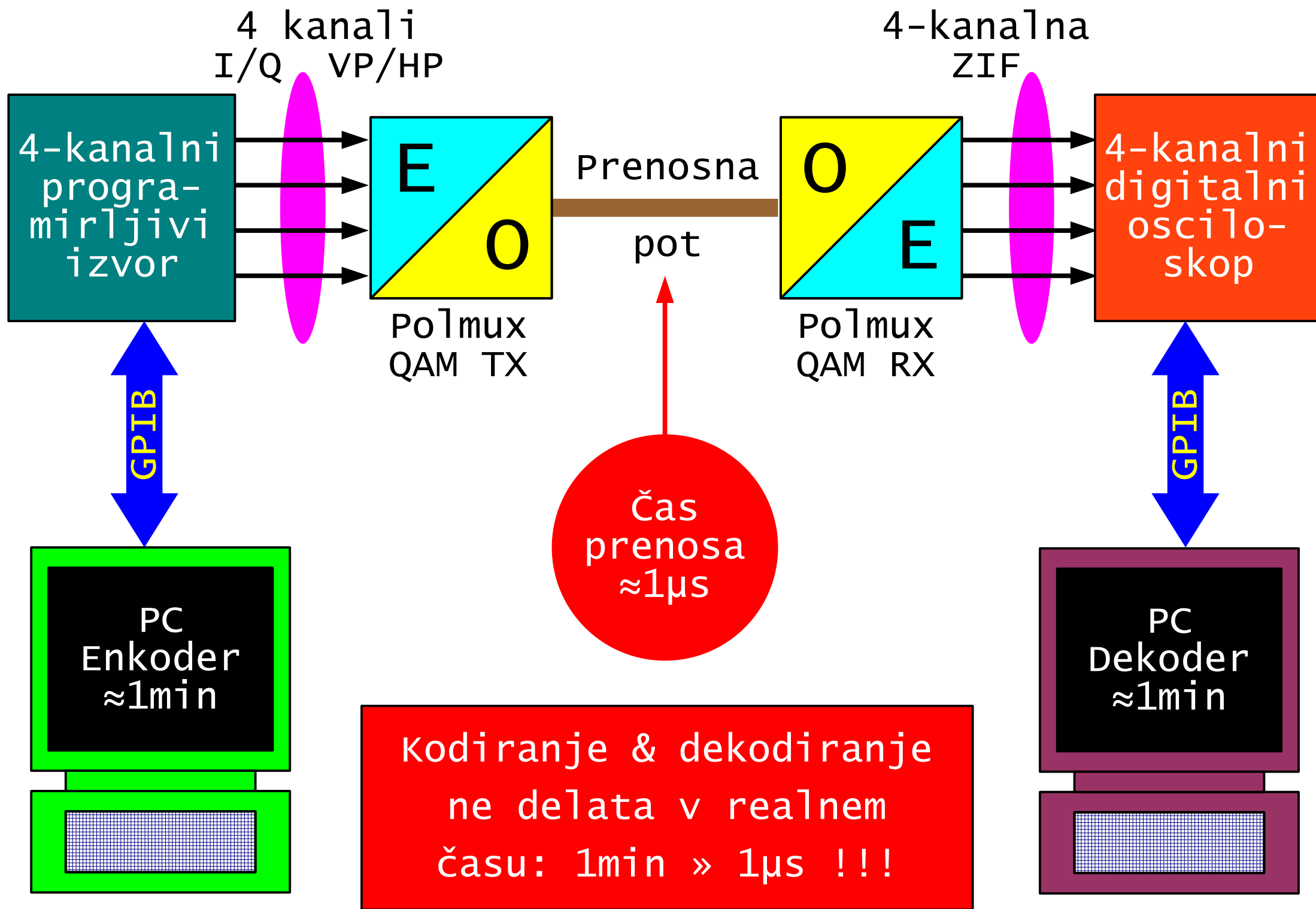


## Odločanje z brisanjem (erasure)



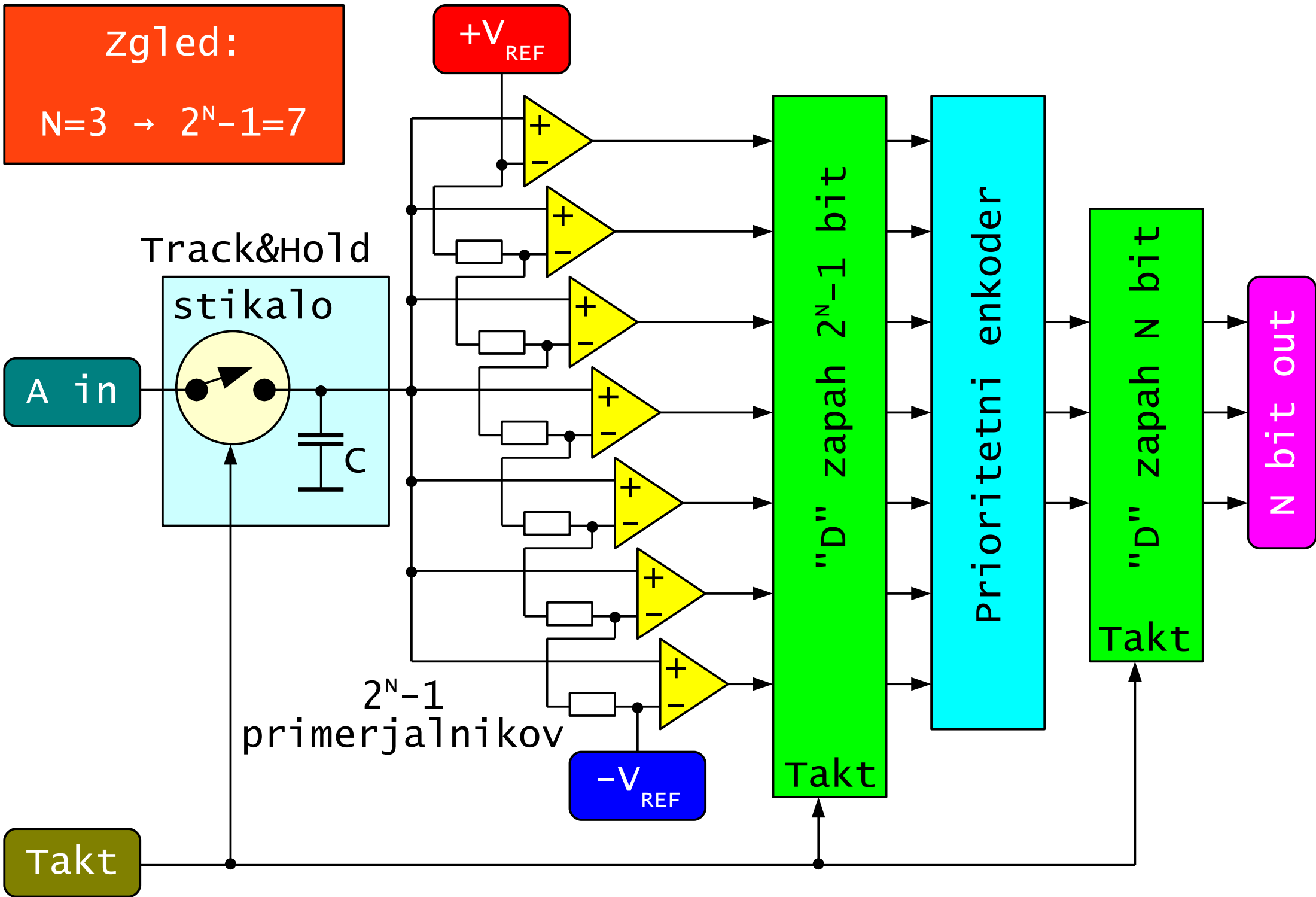
## Mehko odločanje



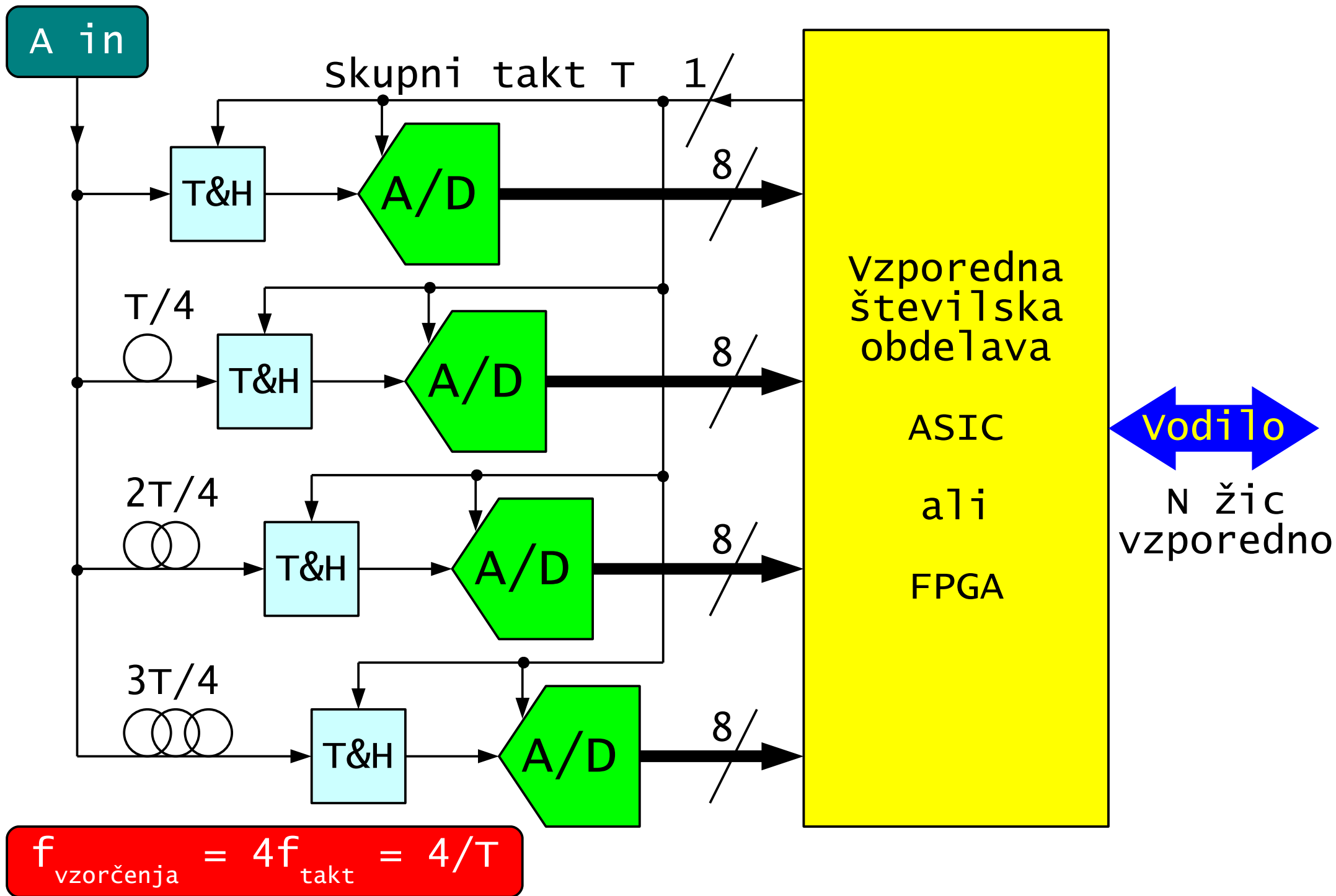


20 - Laboratorijski MIMO+OFDM poskus.

Zgled:  
 $N=3 \rightarrow 2^N-1=7$

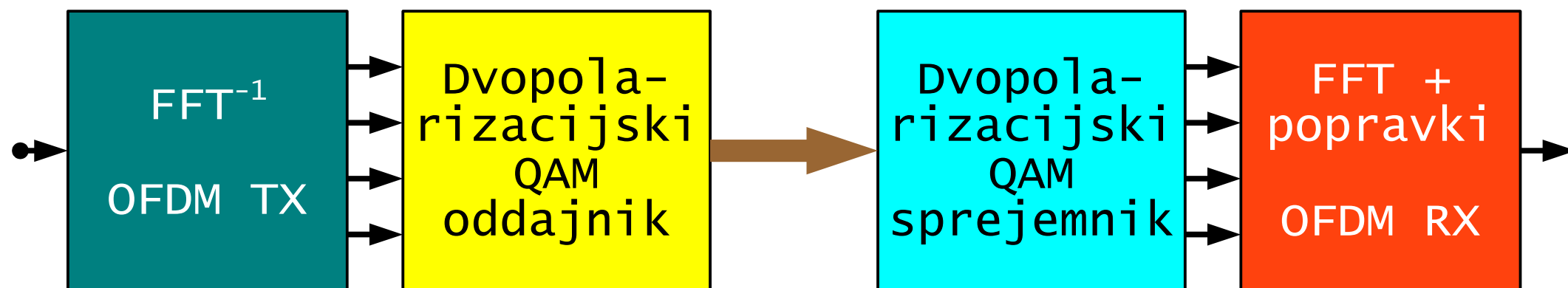


21 - Hitri "FLASH" A/D pretvornik.

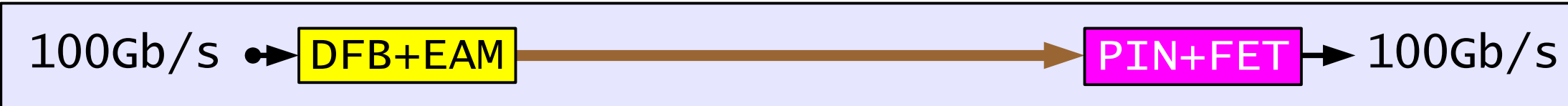


22 - Prepletanje (interleave) A/D pretvornikov.

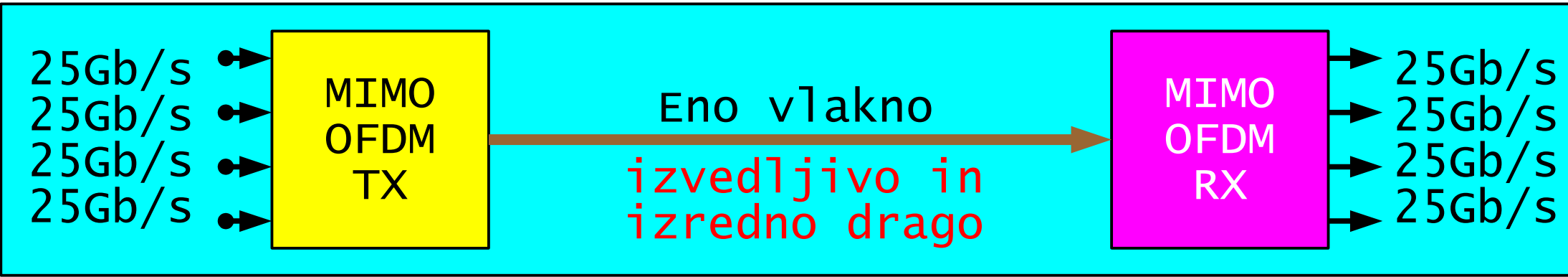
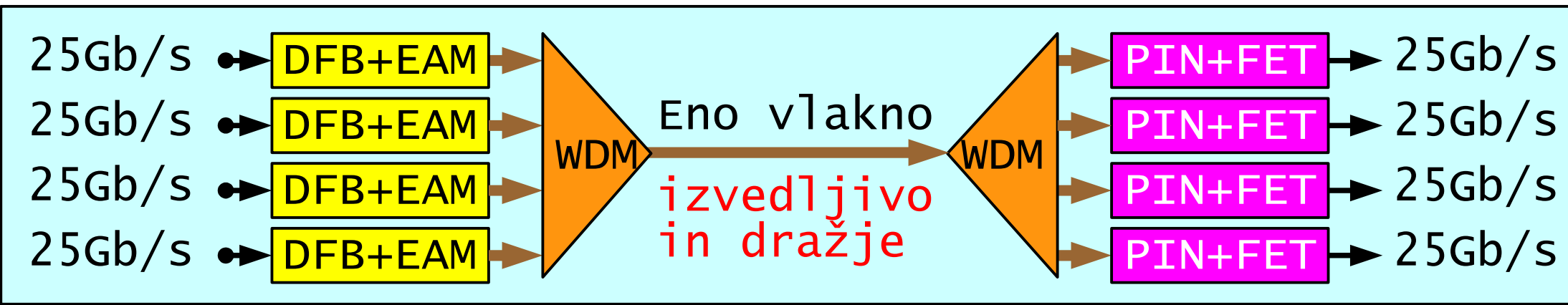
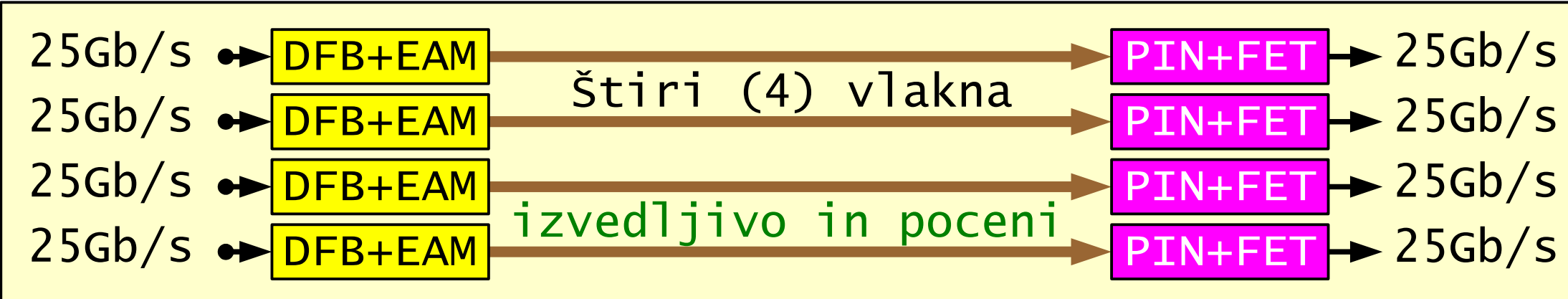




Vrsta zveze	Zmogljivost zveze C	Število čipov za obdelavo	Poraba moči obdelave	Cena obdelave
WLAN WiFi	100Mbit/s	1	0.3W	10\$
WDM kanal	100Gbit/s	300?	1kw?	100000\$?



**Slabi gradniki + popačenje vlakna → neizvedljivo**



24 - Različice 100Gbit/s optičnih zvez.