

17. Seminar Optične Komunikacije
Laboratorij za Sevanje in Optiko
Fakulteta za Elektrotehniko
Ljubljana, 27.-29. januar 2010

Meritve v optičnih komunikacijah

Matjaž Vidmar

..... Seznam prosojnic:

- Slika 1 - Meritve: prostozračna in vlakenska optika.
- Slika 2 - Slabljenje stekla in telekomunikacijska okna.
- Slika 3 - Vrste in lastnosti svetlobnih vlaken.
- Slika 4 - Vlakenski zvari in konektorji s ferulami.
- Slika 5 - Merilni izvori: žarnica, LED, laserji FP in DFB.
- Slika 6 - Zunanji rezonator in zunanji modulator svetlobe.
- Slika 7 - Vakuumska in polprevodniška fotodioda.
- Slika 8 - Fotodiodni in toplotni merilnik moči.
- Slika 9 - Optični multimeter.
- Slika 10 - Vlakenski smerni sklopnik.
- Slika 11 - Svetlobni cirkulator.
- Slika 12 - Vodena moč Rayleigh-ovega sipanja v steklu.
- Slika 13 - Vlakenski OTDR.
- Slika 14 - Meritev z OTDR.
- Slika 15 - OFDR s spreminjanjem svetlobne frekvence.
- Slika 16 - OFDR s spreminjanjem modulacijske frekvence.
- Slika 17 - Mogorodovna, barvna in polarizacijska razpršitev.
- Slika 18 - Meritev mnogorodovne razpršitve.
- Slika 19 - Meritev barvne razpršitve.
- Slika 20 - Nastavljanje in merjenje polarizacije.
- Slika 21 - Meritev polarizacijske razpršitve (PMD).
- Slika 22 - Zahtevnost valovnodolžinskega razvrščanja (WDM).
- Slika 23 - Optični spektralni analizator z interferometrom.
- Slika 24 - Optični spektralni analizator z uklonsko mrežico.
- Slika 25 - Optični spektralni analizator z rezonatorjem.
- Slika 26 - Regeneracija signala in drhtenje takta.
- Slika 27 - Meritev izvora drhtenja (jitter generation).
- Slika 28 - Meritev prenosa drhtenja (jitter transfer).
- Slika 29 - Meritev odpornosti na drhtenje (jitter tolerance).
- Slika 30 - Odziv osciloskopa in širina impulza.
- Slika 31 - Očesni vzorec (eye pattern) in razmerje Q.
- Slika 32 - Meritev pogostnosti napak (BER).
- Slika 33 - Izvedba in lastnosti polinomskih izvorov.
- Slika 34 - Vnaprejšnje popraviljanje napak (FEC).
- Slika 35 - Cilji in pomanjkljivosti optičnih meritev.

OPTIČNE MERITVE

PROSTOZRAČNA OPTIKA

(BULK OPTICS)

leče, prizme, zrcala
optične klopi in mize

čisto laboratorijsko
okolje

številne zamudne
mikrometrске nastavitve

visoko usposobljena
delovna sila

nezdružljivost z
vlakensko optiko oziroma
TK opremo

VLAKENSKA OPTIKA

(FIBER OPTICS)

mnogorodovna vlakna (MMF):
GI 50/125 (G.651),
GI 62.5/125, plastična

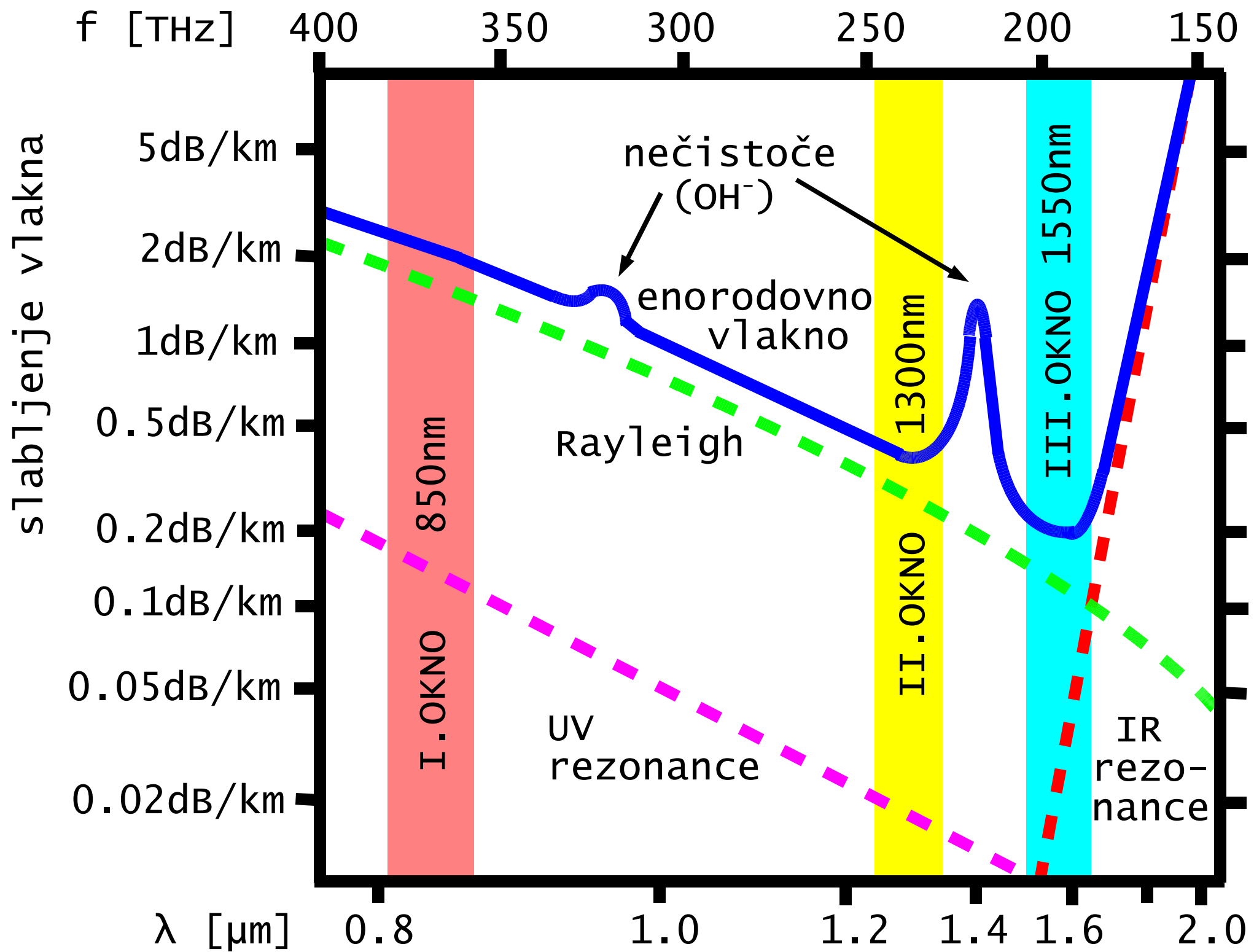
enorodovna vlakna (SMF):
G.652, G.653, G.655...

konektorji: vrsta, premer
in brušenje ferule

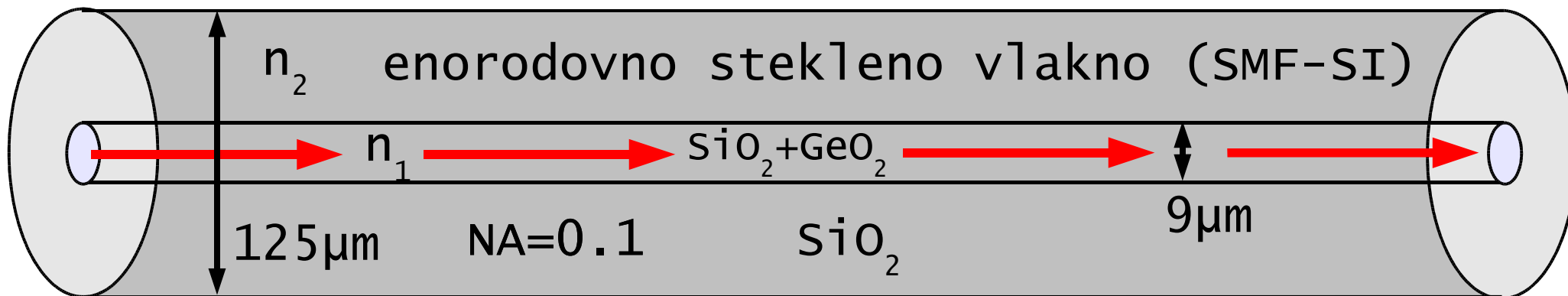
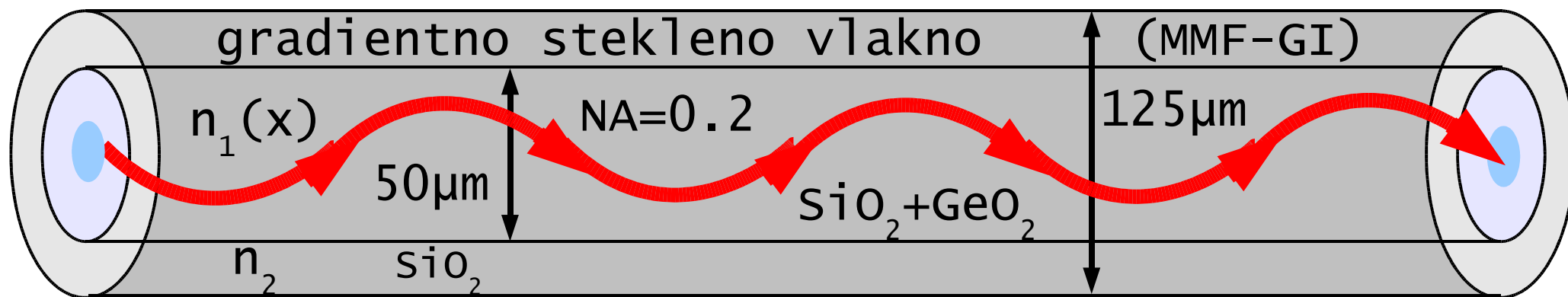
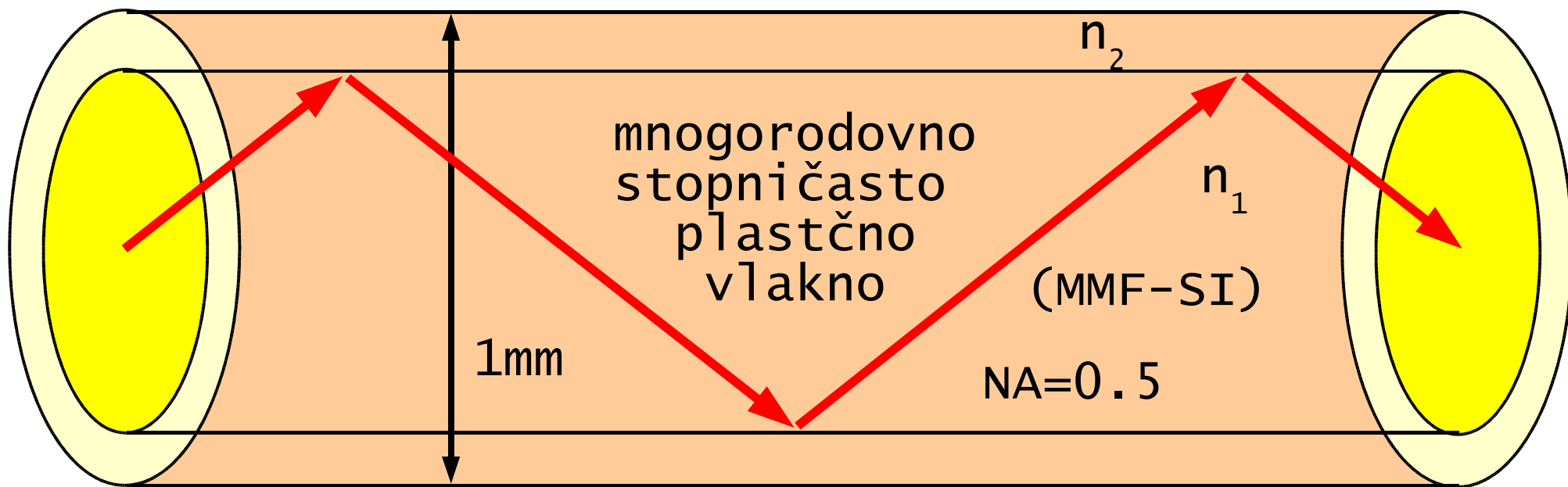
združljivost s TK opremo

uporaba v poljubnem okolju

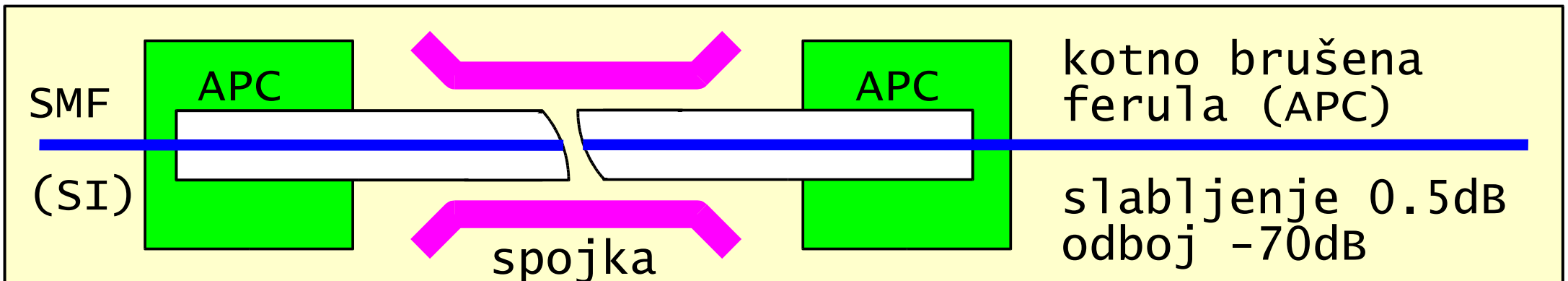
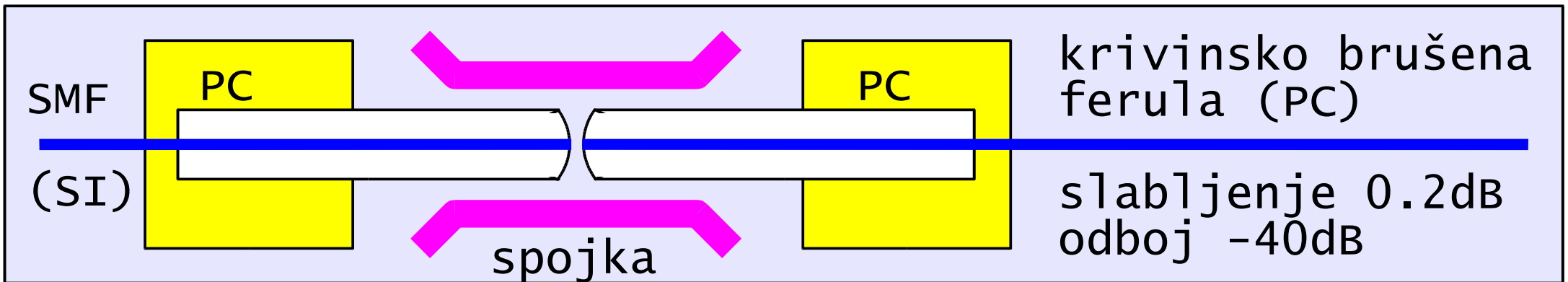
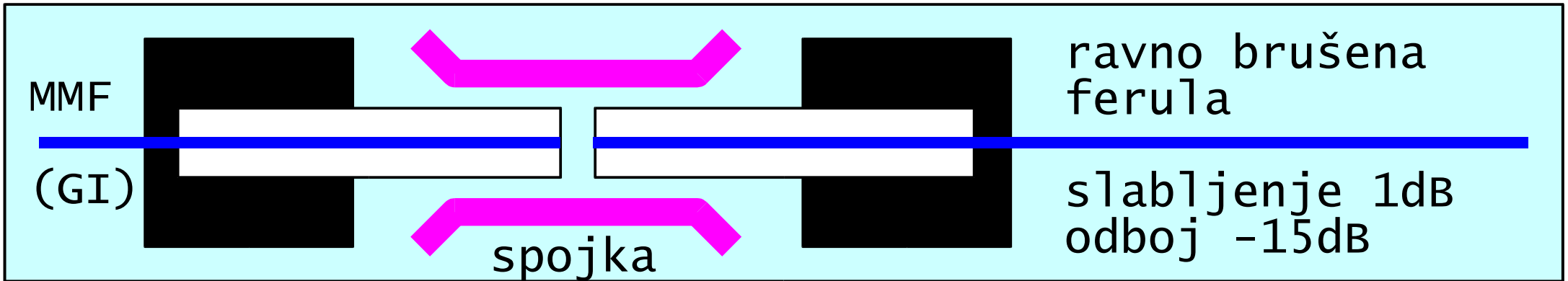
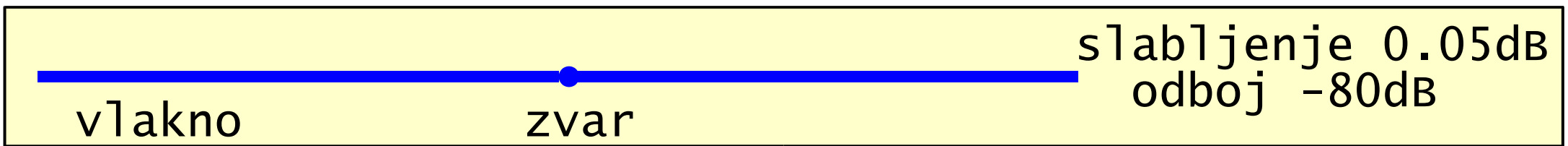
nastavitev skoraj ni, mala
verjetnost človeške napake



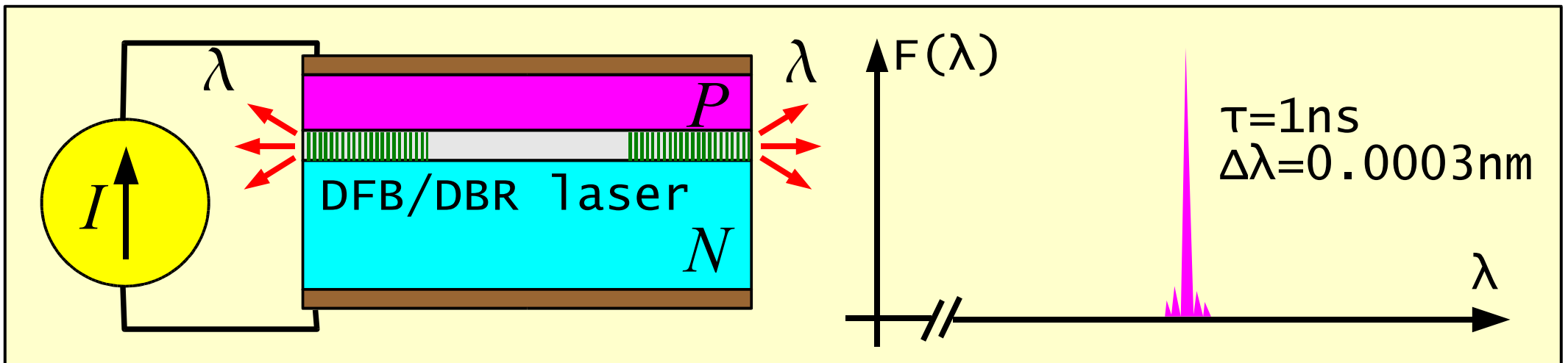
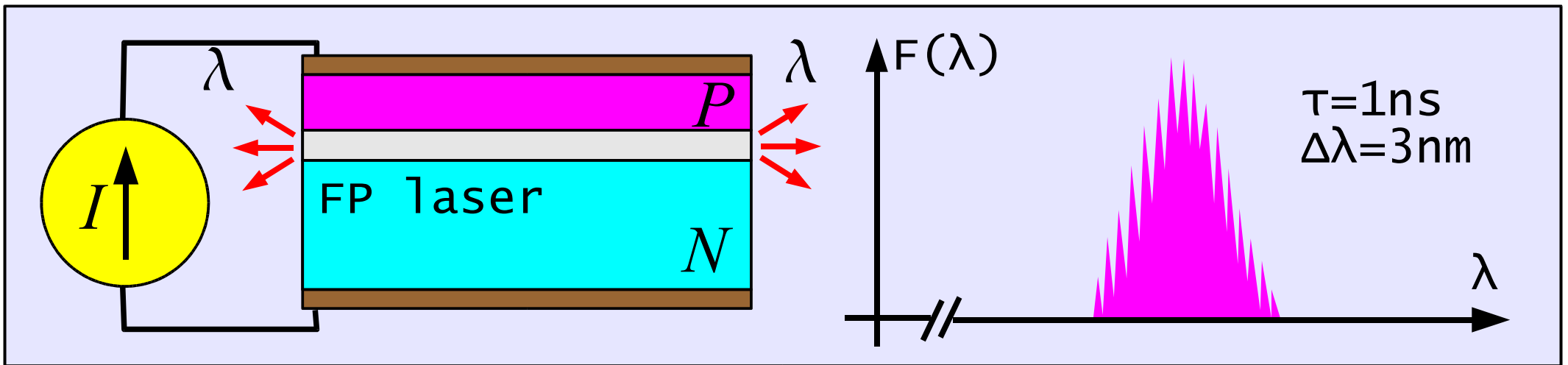
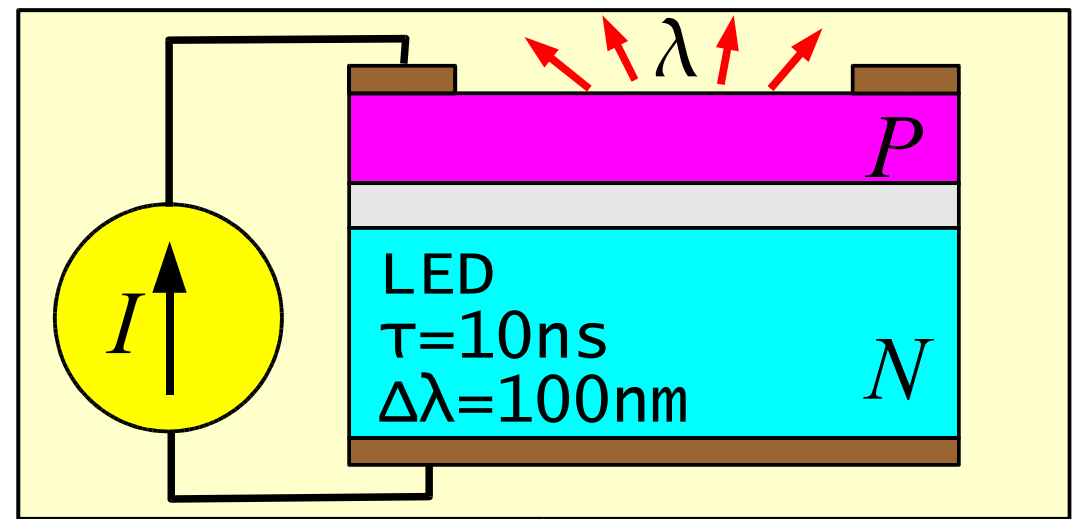
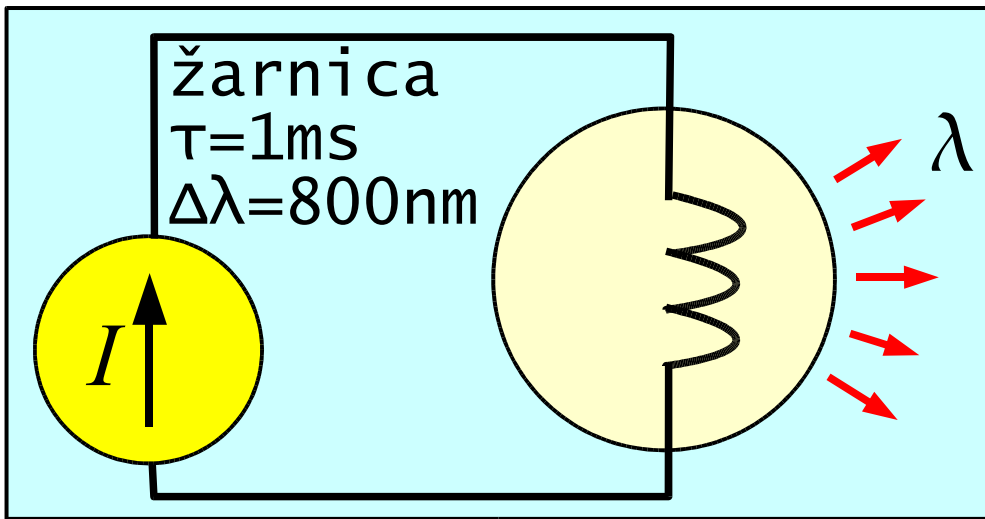
2 - slabljenje stekla in telekomunikacijska okna.



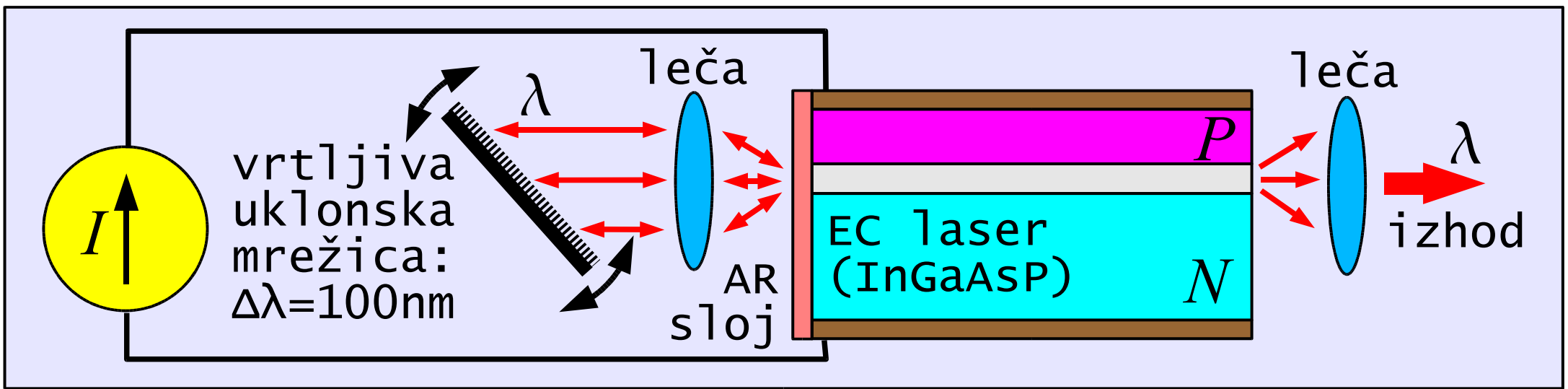
3 - vrste in lastnosti svetlobnih vlaken.



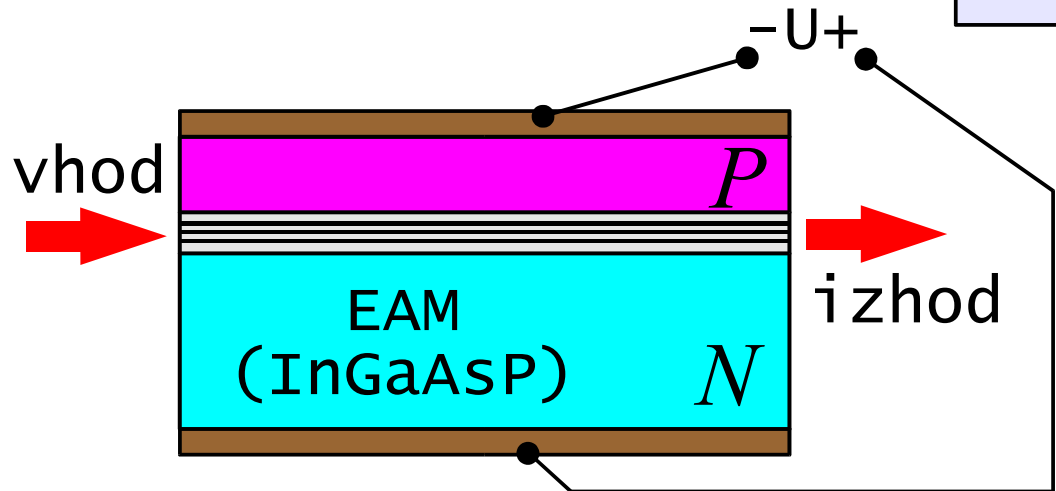
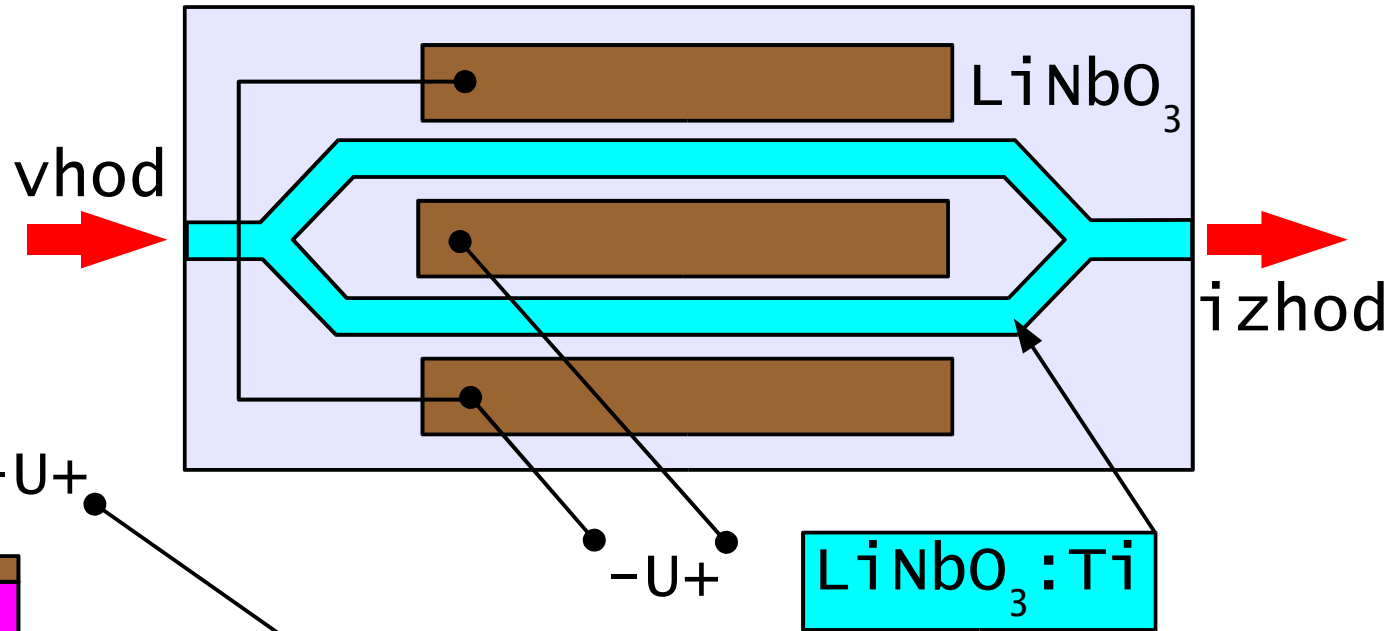
4 - vlakenski zvari in konektorji s ferulami.



5 - Merilni izvori: žarnica, LED, laserji FP in DFB.

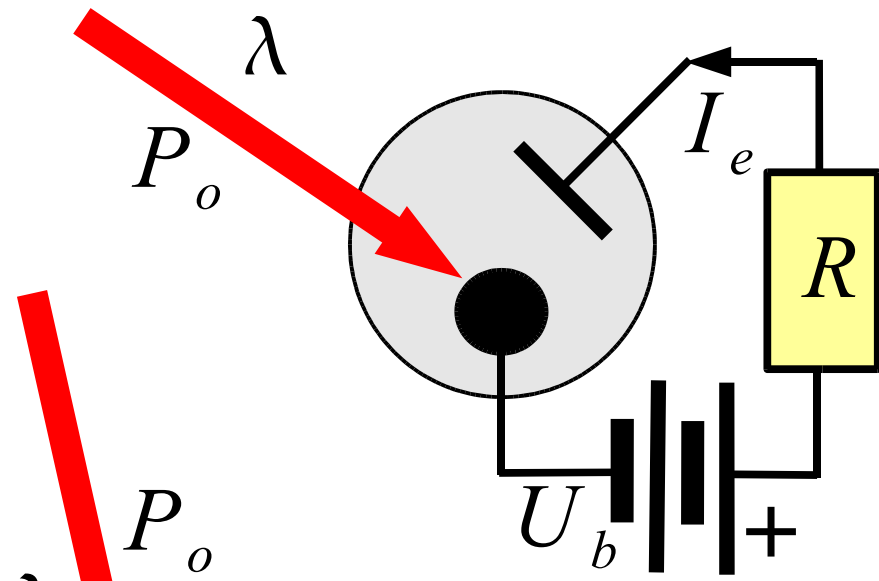


amplitudni MZM:
 $B=10\text{GHz}$ $a_{\text{ugasno}}=25\text{dB}$
 LiNbO_3 : $U_{\pi}=5\text{V}\dots 15\text{V}$
 GaAs : $U_{\pi}=2\text{V}\dots 4\text{V}$



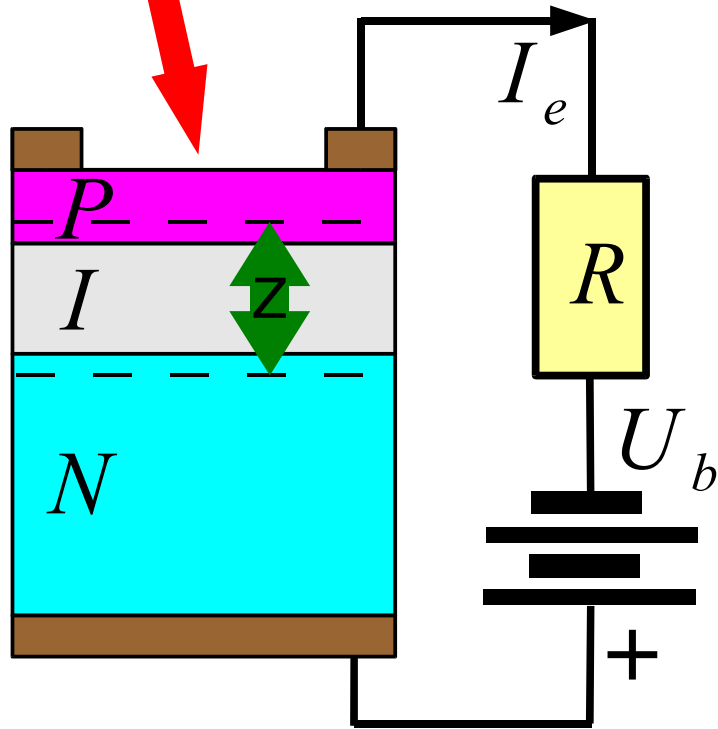
EAM: $\Delta U=3\text{V}\dots 5\text{V}$
 $B=40\text{GHz}$
 $a_{\text{ugasno}}=15\text{dB}$

6 - zunanji rezonator in zunanji modulator svetlobe.



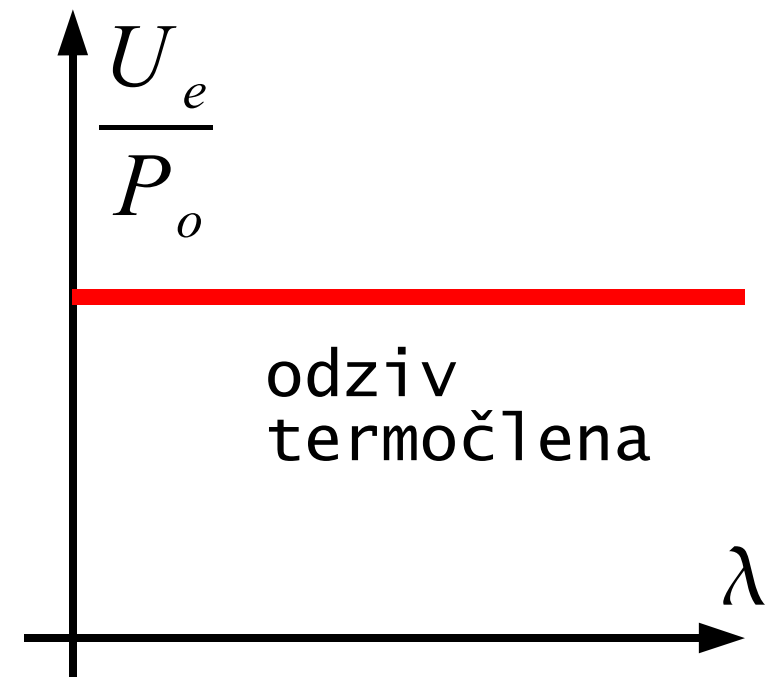
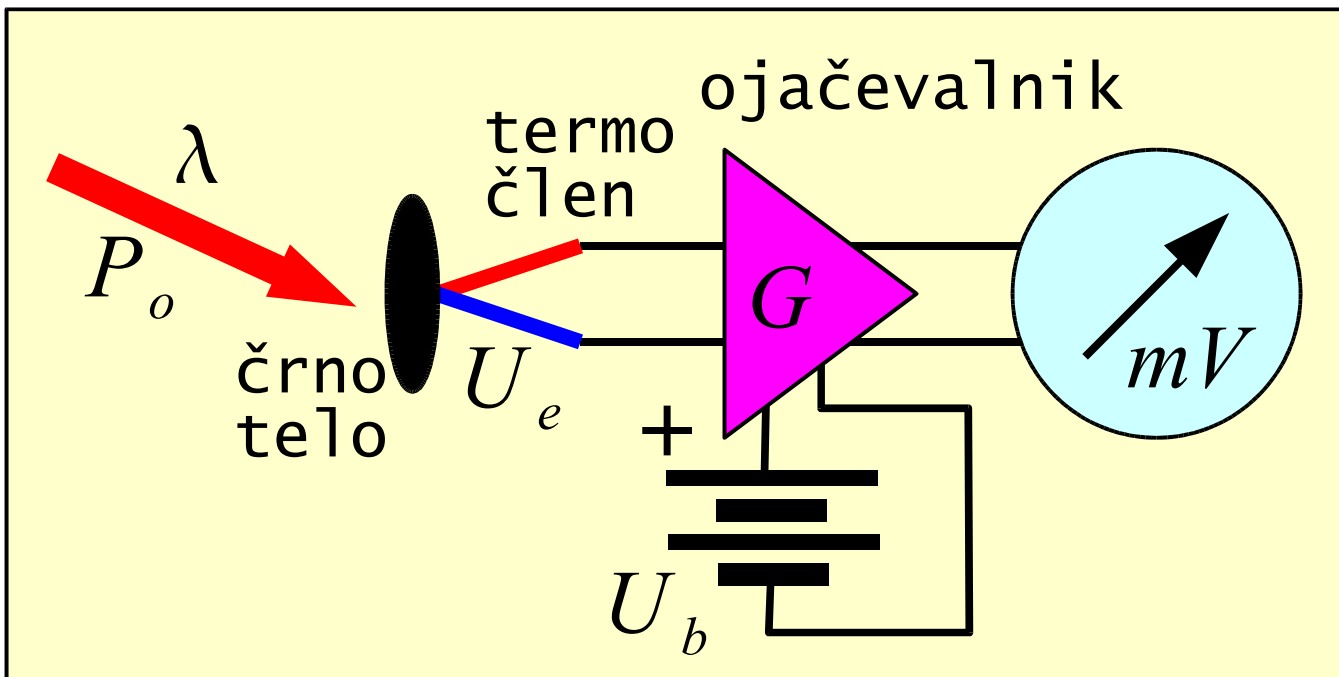
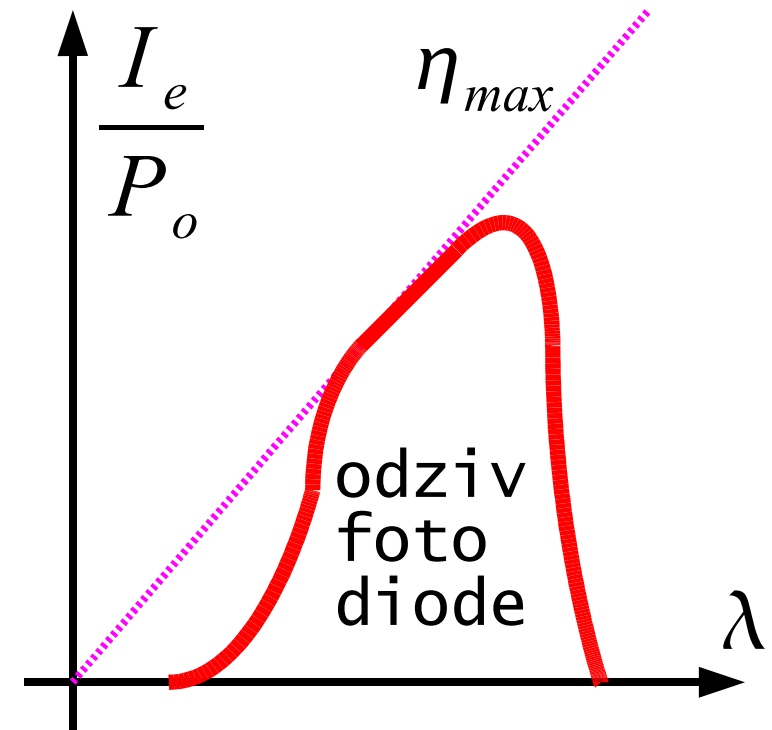
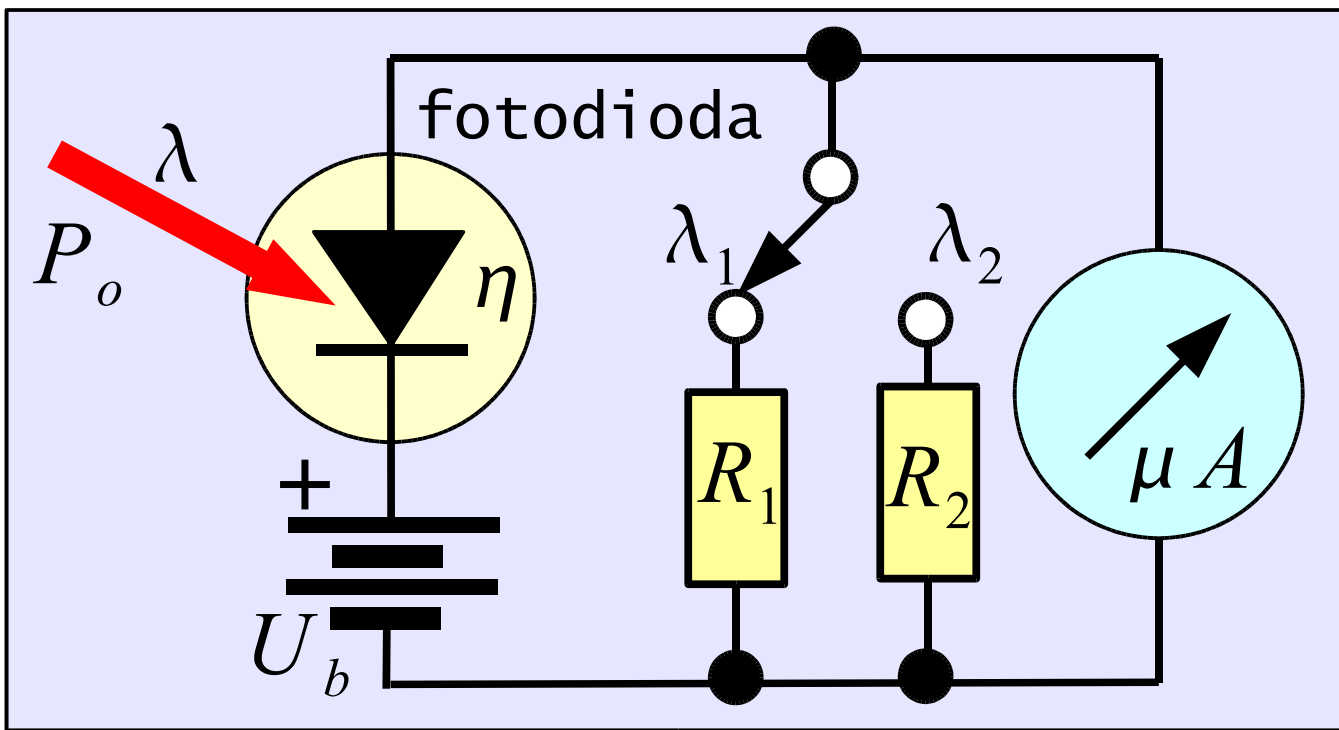
kvantni izkoristek $\eta = \frac{N_{elektronov}}{N_{fotonov}}$

odzivnost $\frac{I_e}{P_o} = \frac{\eta \cdot |Q_e| \cdot \lambda}{h \cdot c_o}$

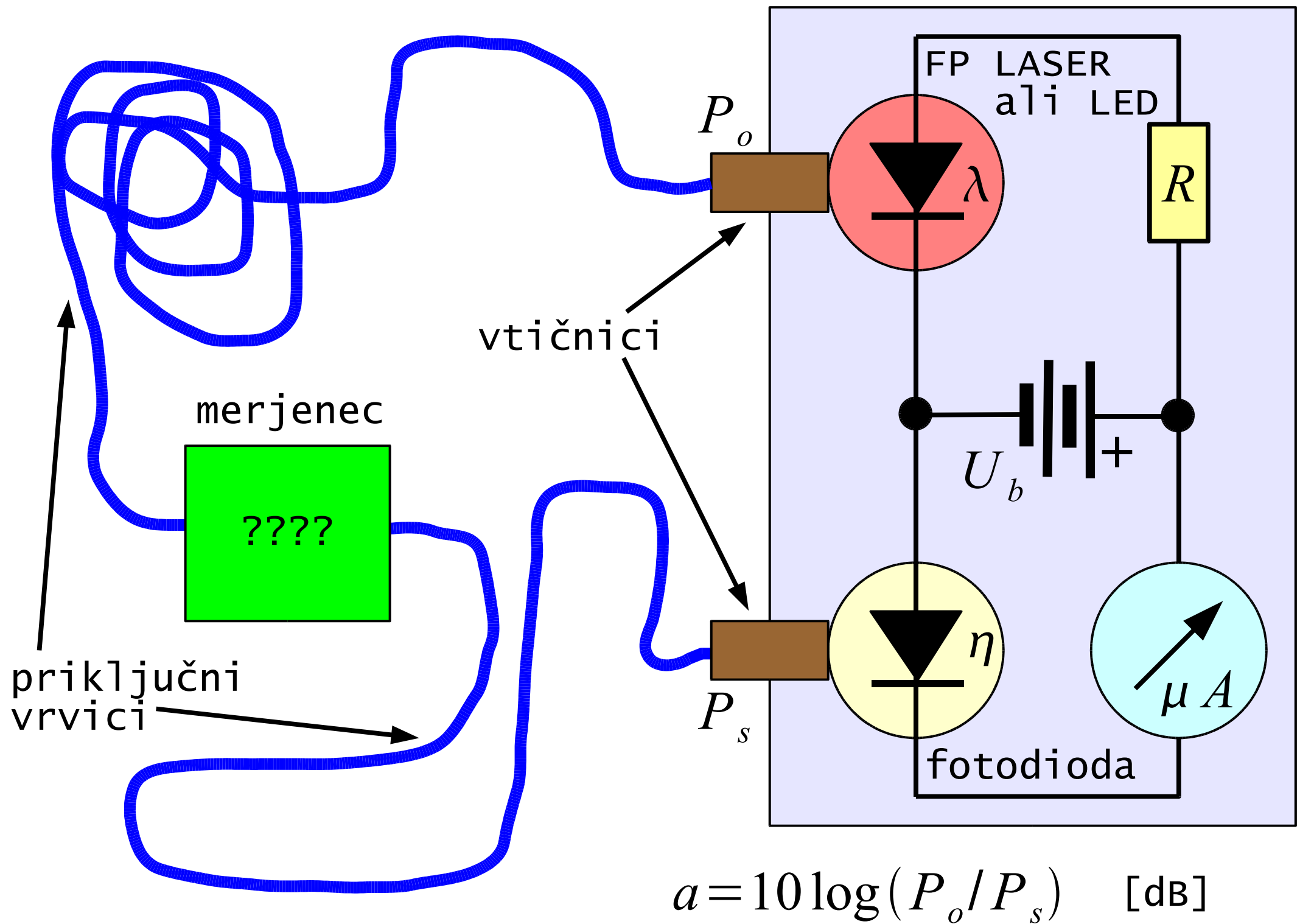


fotodioda @λ	η	I _e /P _o
vakuum @500nm	20%	0.08A/w
vakuum @1550nm	1E-6	1.2μA/w
Si @850nm	85%	0.58A/w
InGaAs @1550nm	70%	0.87A/w

7 - vakuumška in polprevodniška fotodioda.



8 - Fotodiodni in toplotni merilnik moči.



9 - Optični multimeter.



$$P_{\text{prepust}} = P_{\text{vstop}} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos\left(2\pi \frac{l}{\Lambda}\right) \right)$$

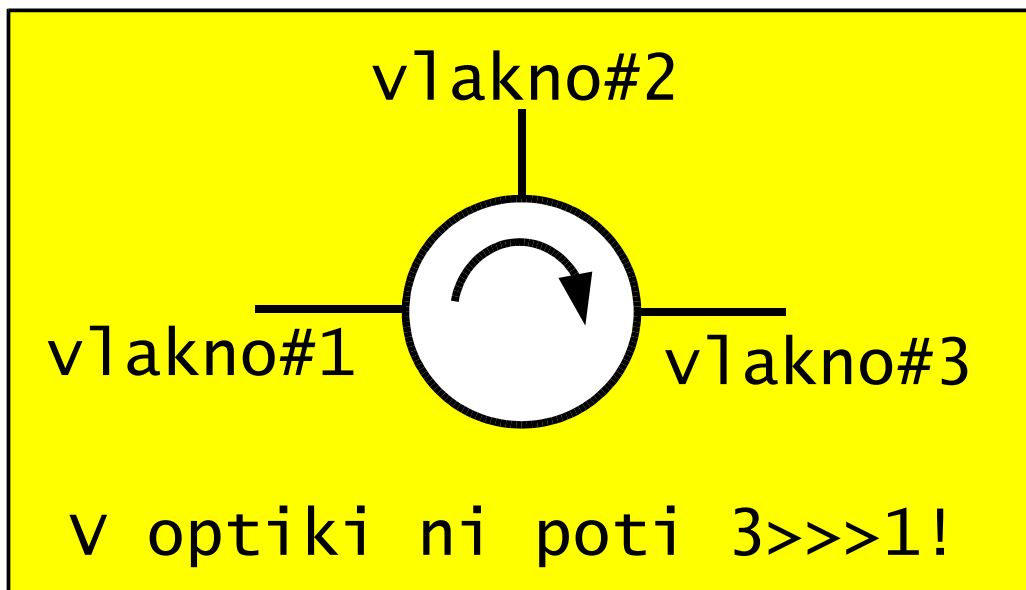
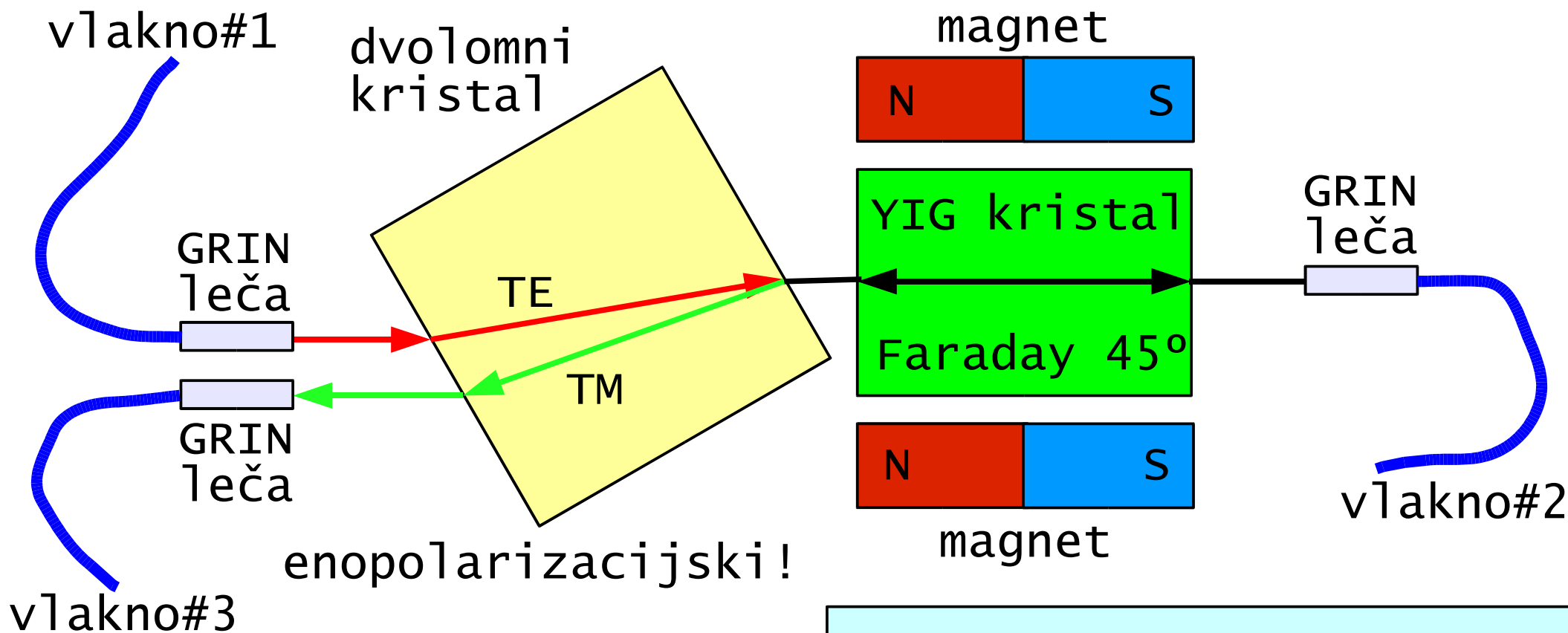
$$P_{\text{sosmerni}} = P_{\text{vstop}} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \cos\left(2\pi \frac{l}{\Lambda}\right) \right)$$

$$\text{Smernost} = \frac{P_{\text{sosmerni}}}{P_{\text{protismerni}}} > 10^7 = 70 \text{ dB}$$

vlakenski sklopnik:
 zelo velika dolžina
 zelo rahel sklop
 nehomogen dielektrik

slab protismerni sklop
 močen sosmerni sklop
 $\Lambda \equiv \text{utripna dolžina}$
 $\Lambda \approx 1000 \lambda \dots 10000 \lambda$

10 - vlakenski smerni sklopnik.



vstavitevno slabljenje
 $1 \ggg 2$ oziroma $2 \ggg 3$
 okoli 0.2-0.5dB
 (izgube GRIN prehodov)

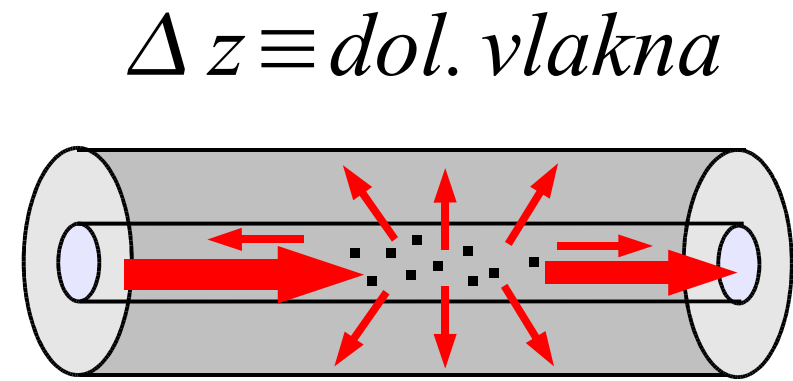
smernost ali povratno
 slabljenje
 $2 \ggg 1$ oziroma $3 \ggg 2$
 okoli 35-40dB
 (učinkovitost AR slojev)

11 - svetlobni cirkulator.

$$P_{odbiti} = P_{vpadni} \cdot 0.23 \cdot \alpha \cdot S_c \cdot \Delta z$$

$\alpha \equiv$ slabljenje sipanja [dB/m]

$S_c \equiv$ koeficient ujetja sipane svetlobe nazaj v jedro vlakna



mnogorodovno stopničasto vlakno

$$S_c = \frac{3}{8} \cdot \frac{NA^2}{n_1^2}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \equiv \text{num. apertura}$$

mnogorodovno gradientno vlakno

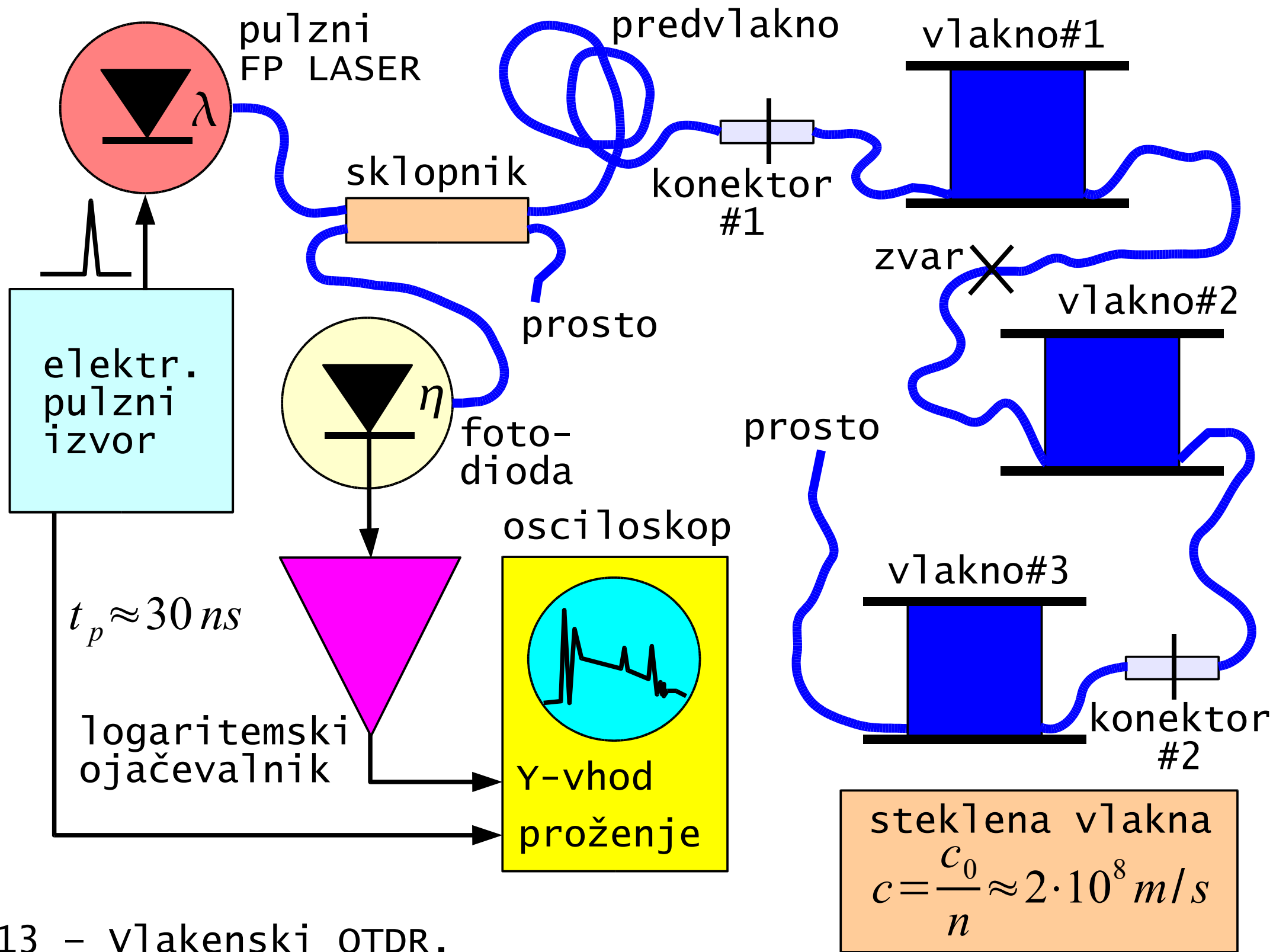
$$S_c = \frac{1}{4} \cdot \frac{NA^2}{n_1^2}$$

$$n_1 \equiv \text{lomni kol. jedra}$$

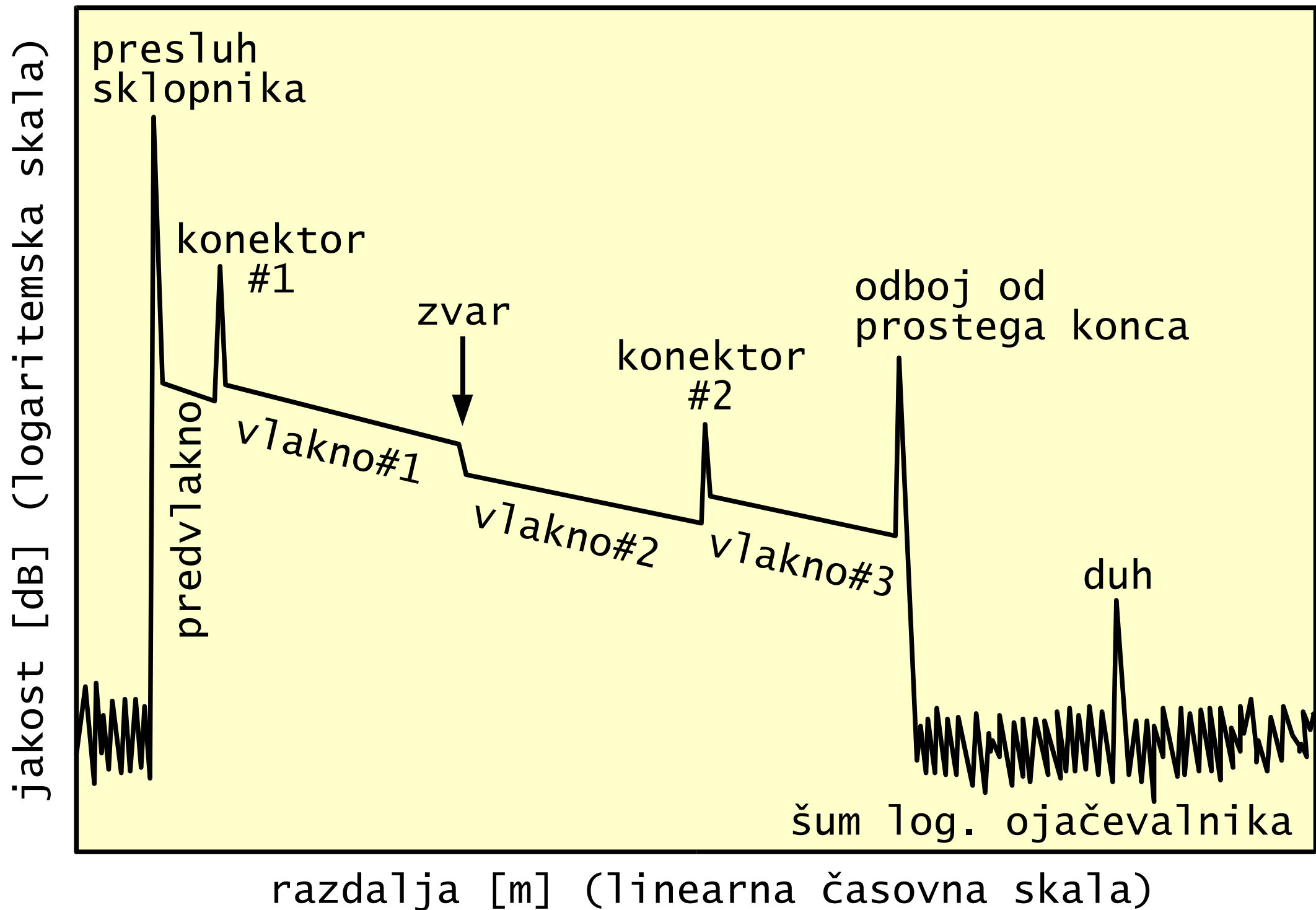
enorodovno vlakno

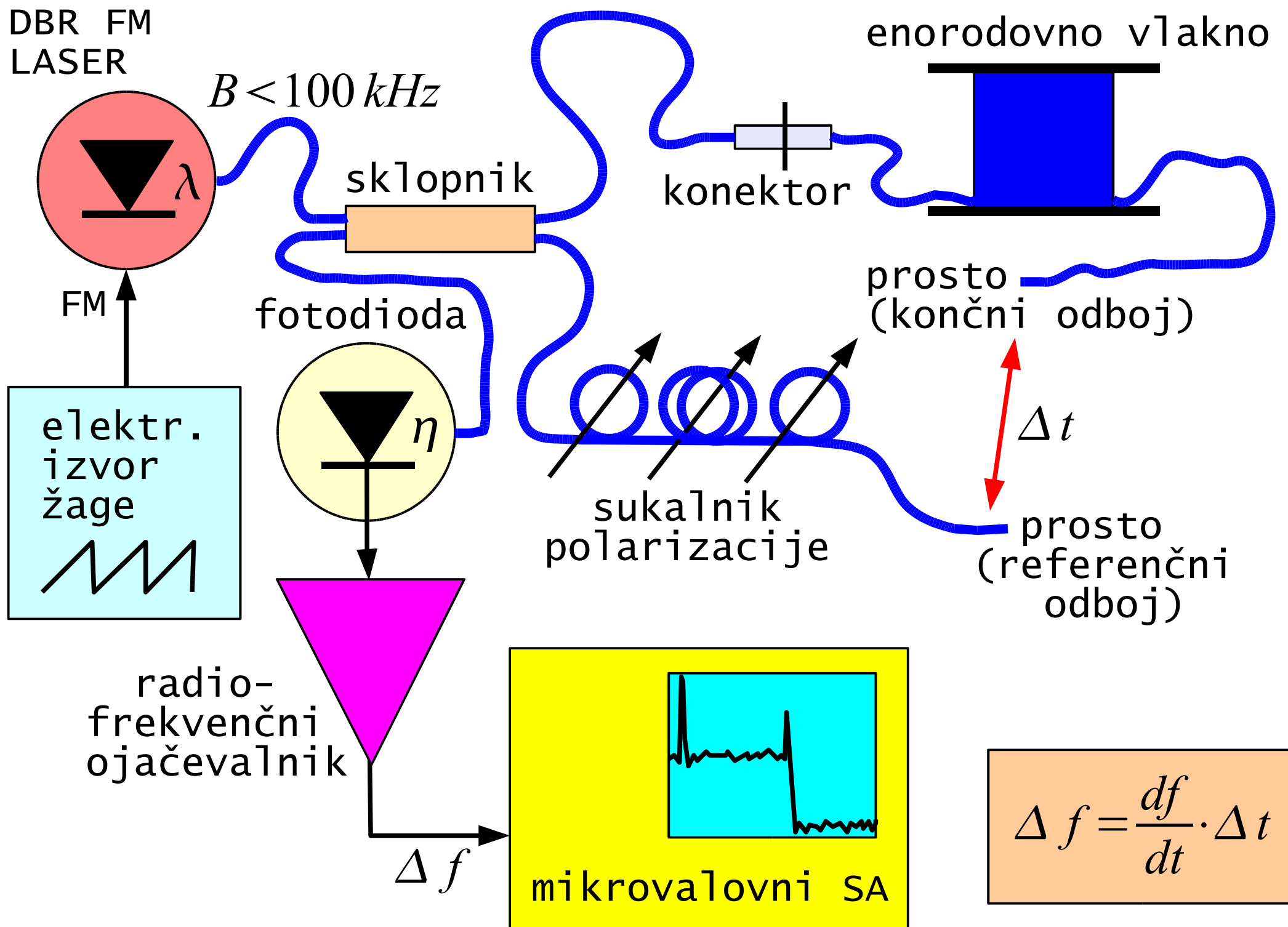
$$S_c = \frac{3}{8} \cdot \left[\frac{\lambda}{\pi \cdot n_1 \cdot w} \right]^2$$

$$w \equiv \text{rodovni polmer}$$

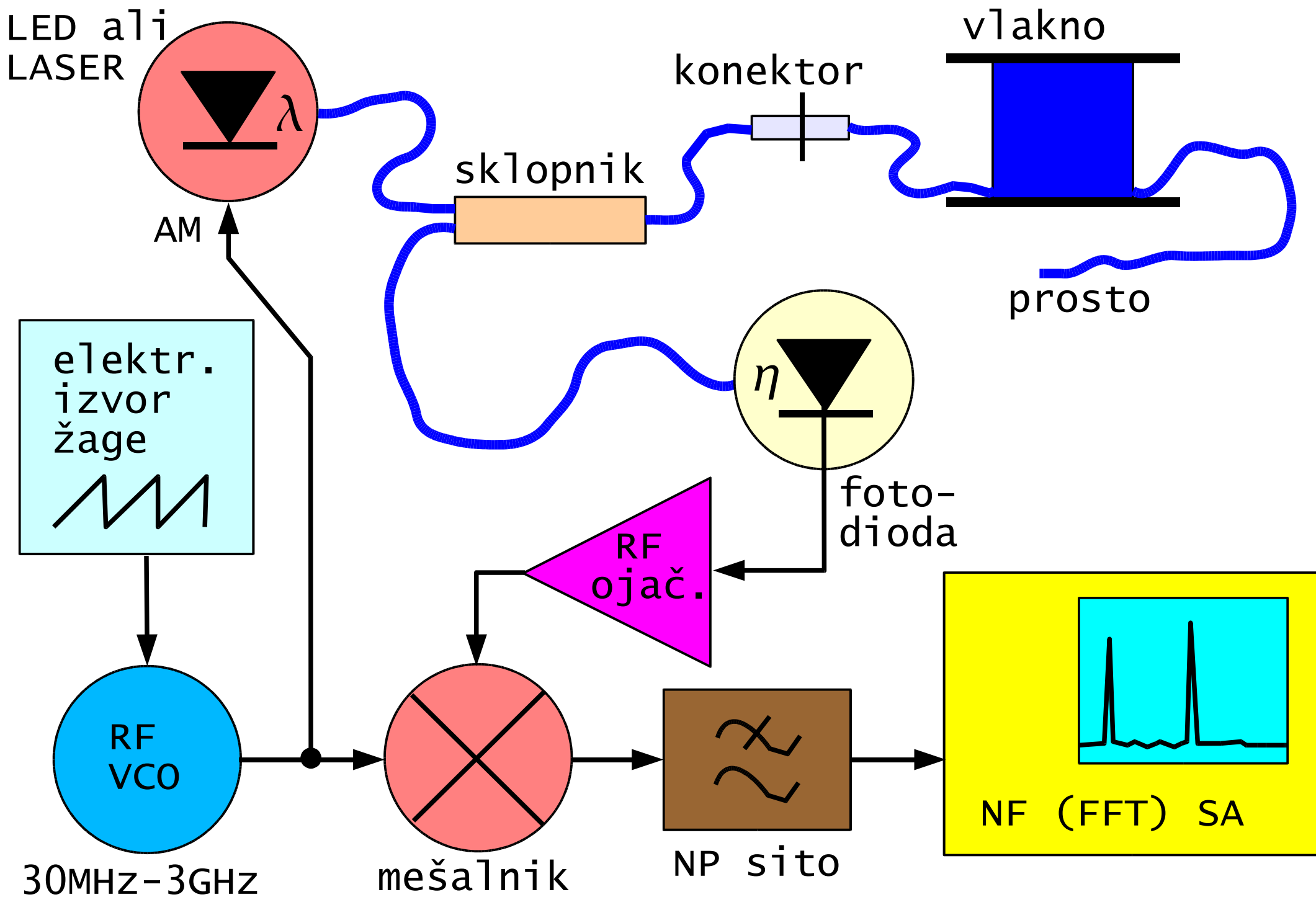


13 – vlakenski OTDR.

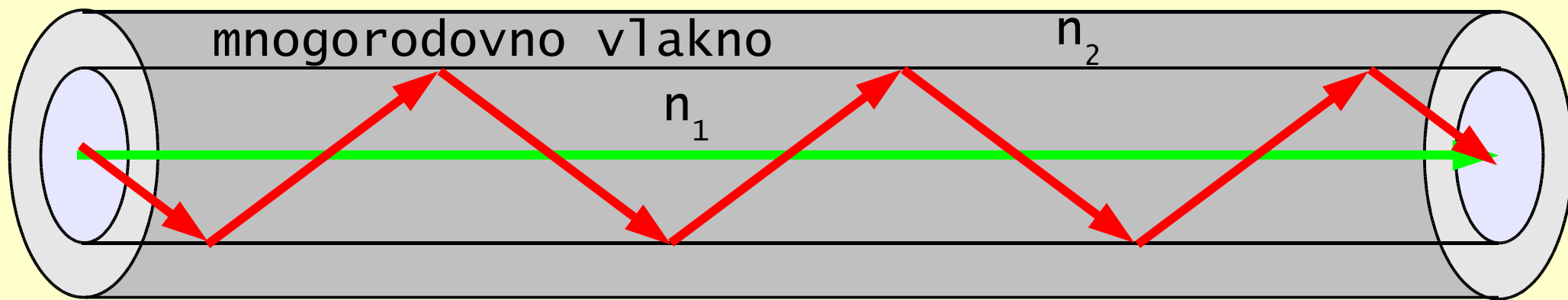




15 – OFDR s spreminjanjem svetlobne frekvence.



16 - OFDR s spreminjanjem modulatorske frekvence.



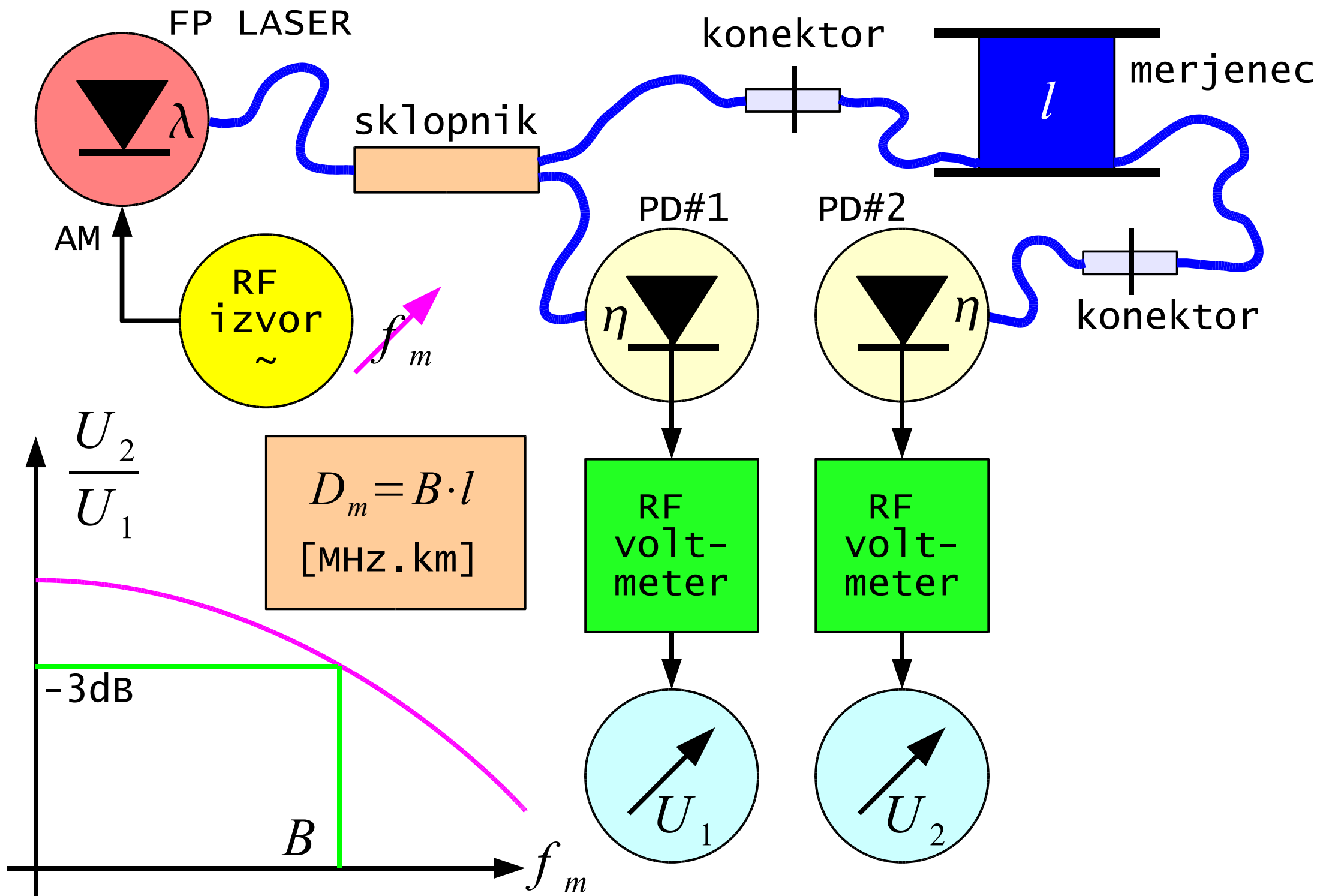
različne poti ➡ mnogorodovna razpršitev



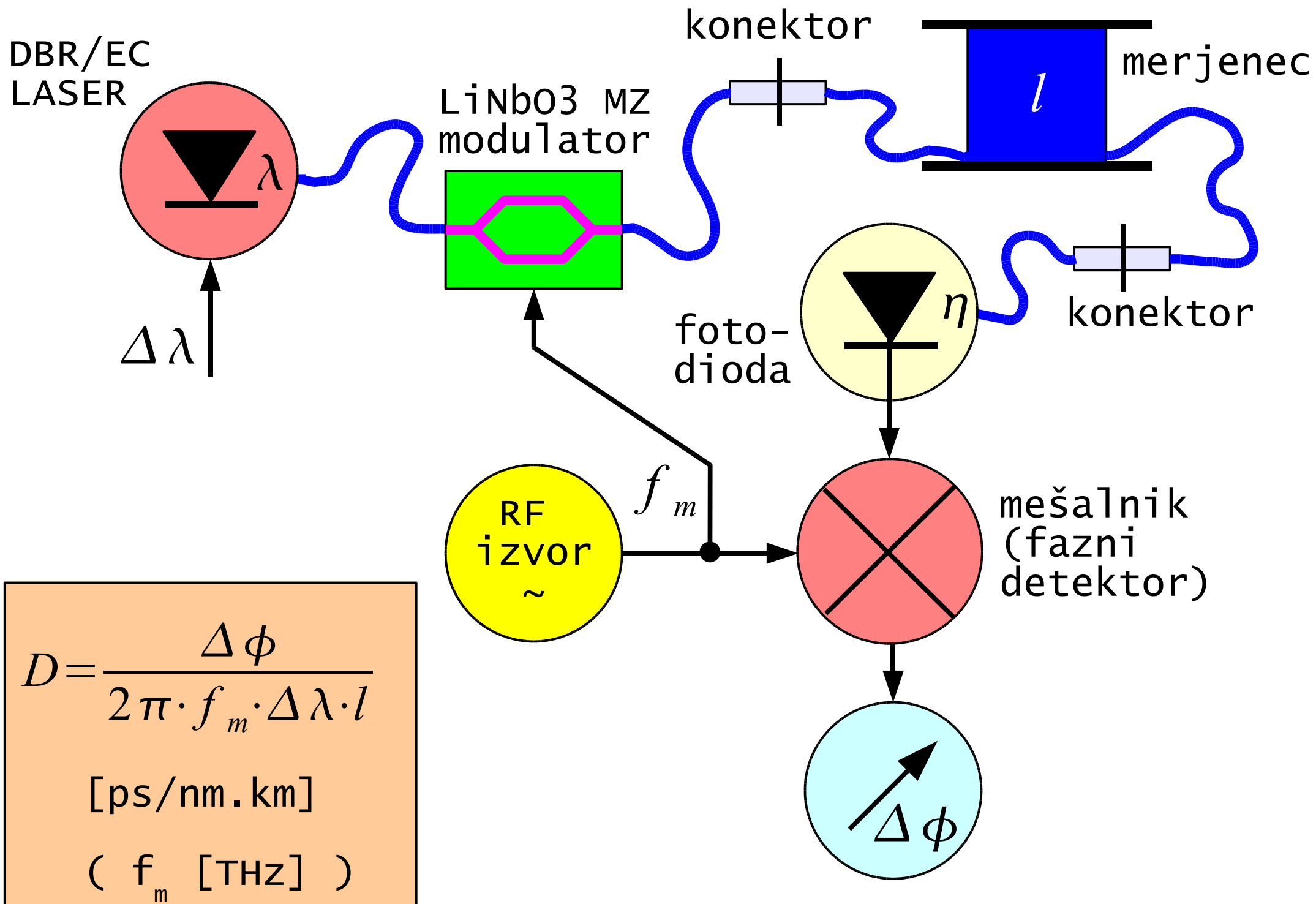
$n_1(\lambda), n_2(\lambda)$, valovod ➡ barvna razpršitev



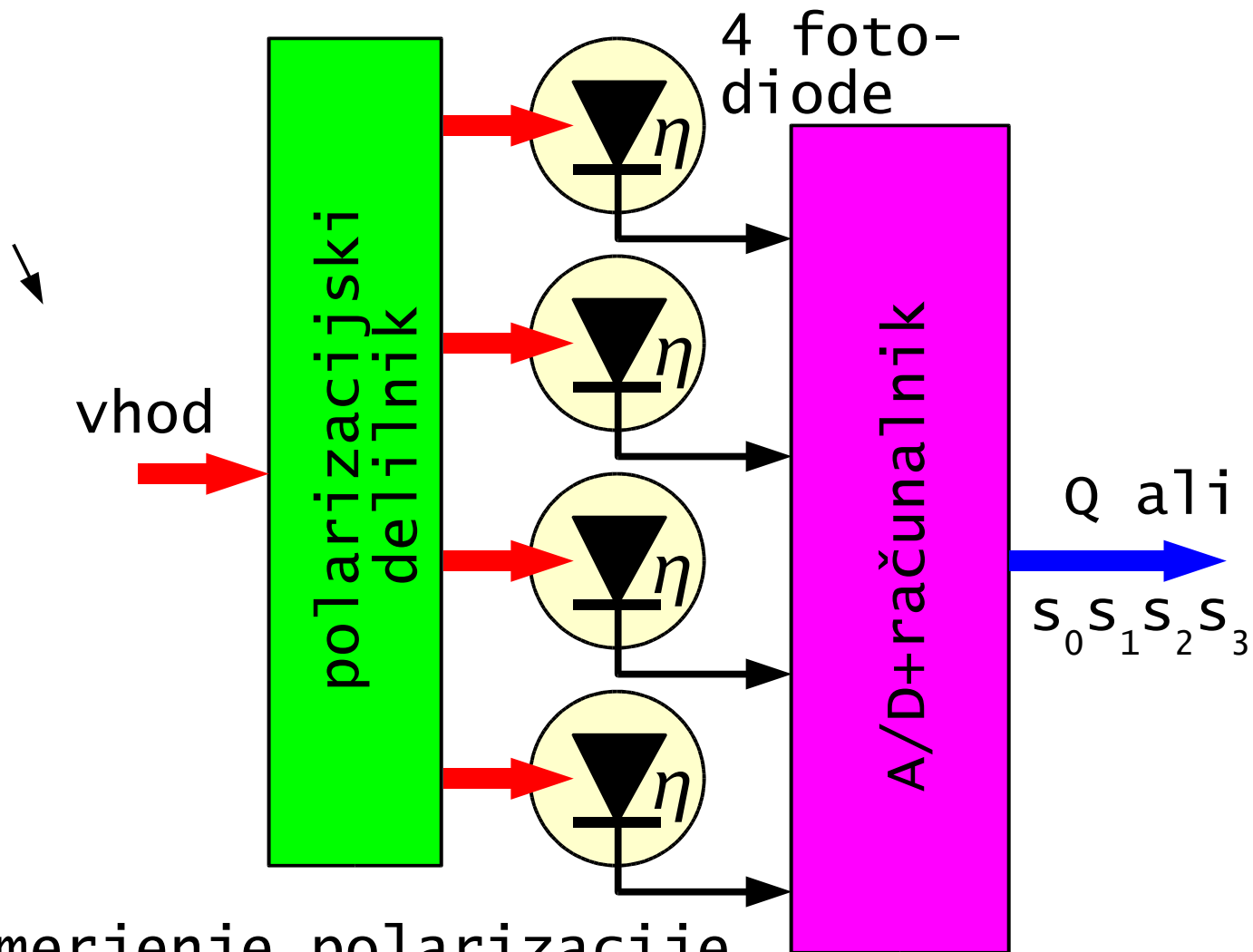
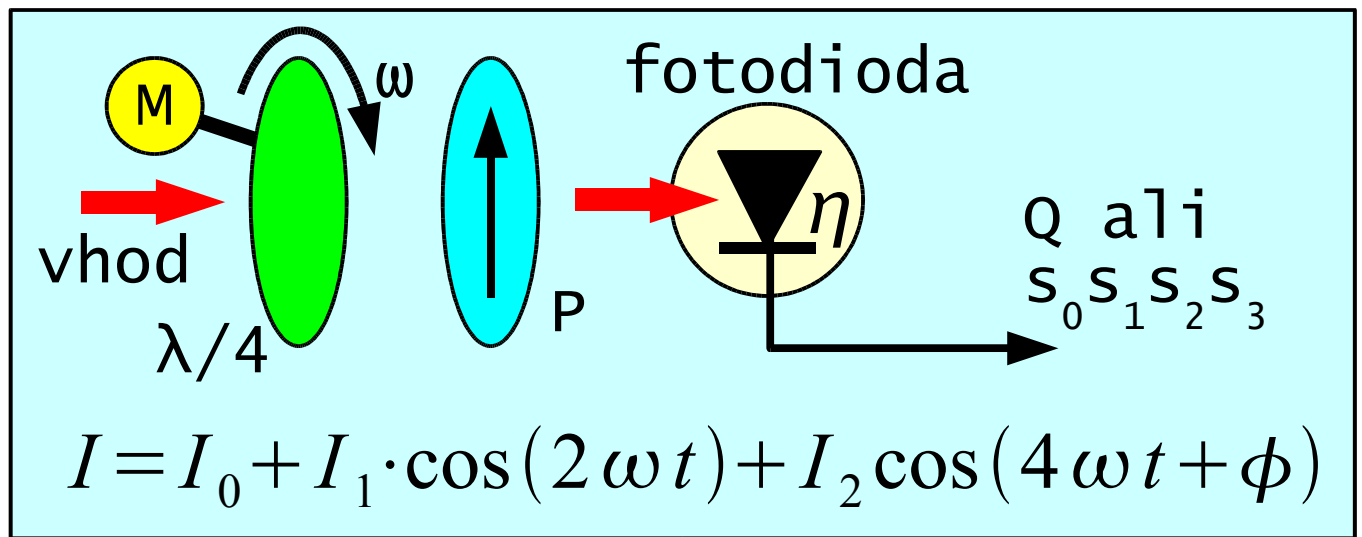
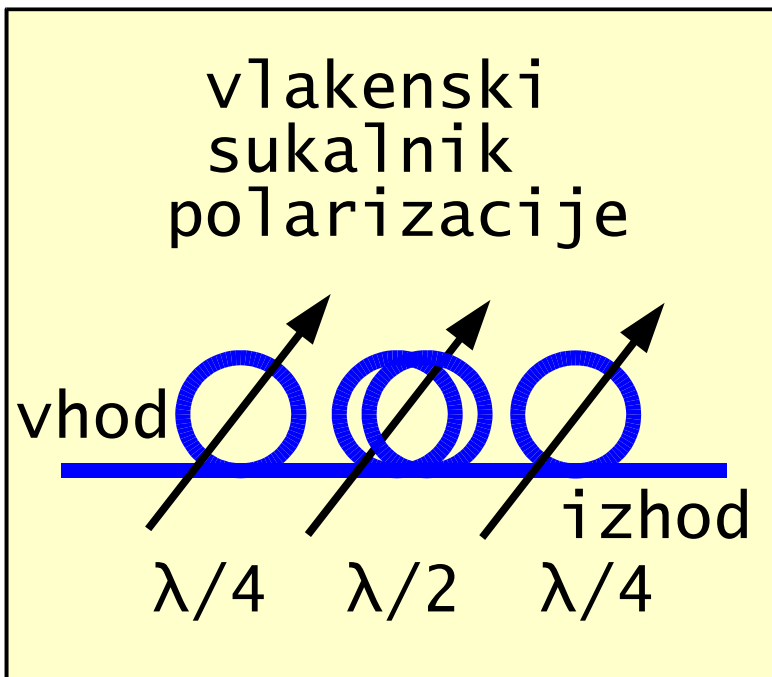
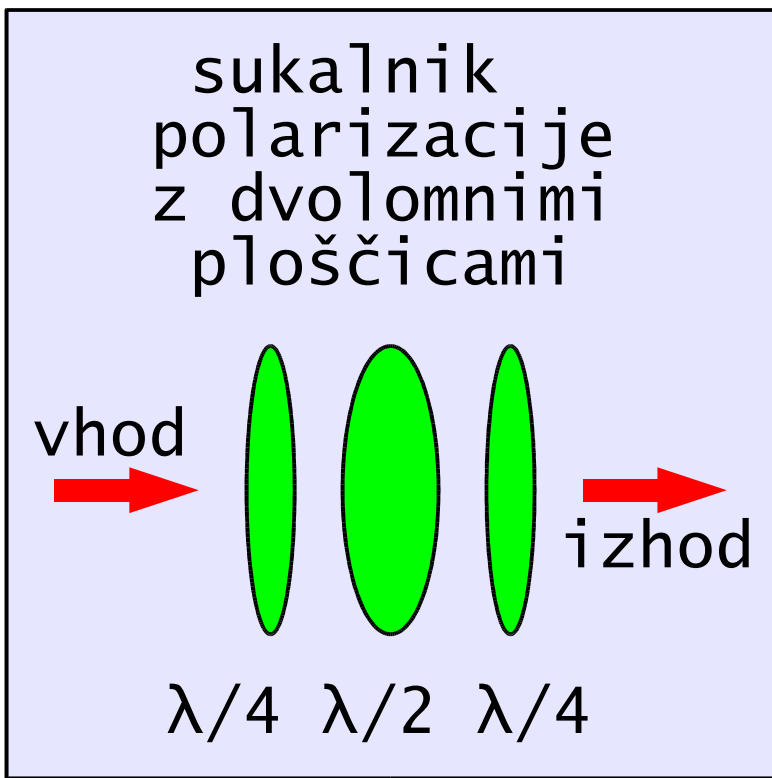
nesimetrija ➡ polarizacijska razpršitev

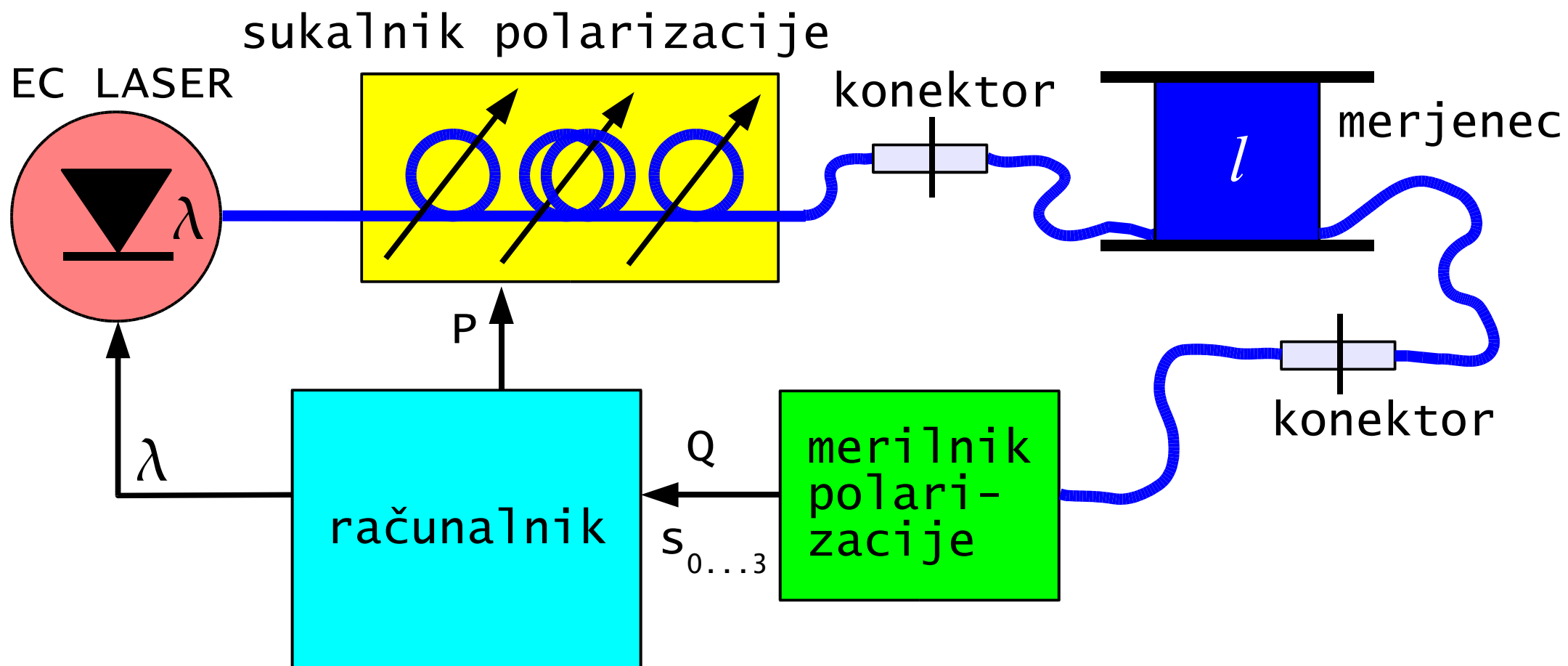


18 – Meritev mnogorodovne razpršitve.

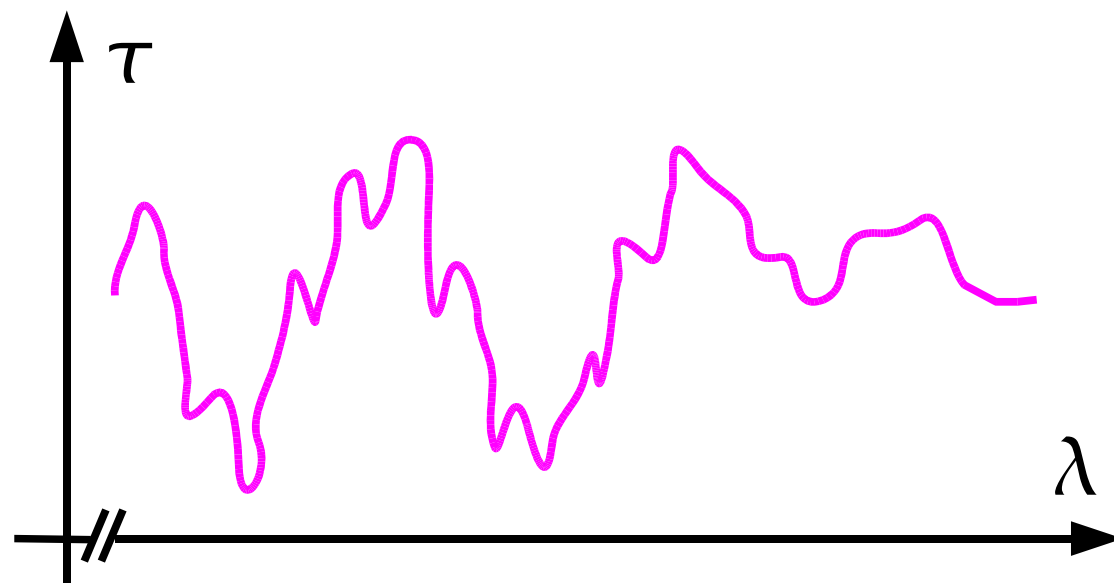


19 – Meritev barvne razpršitve.

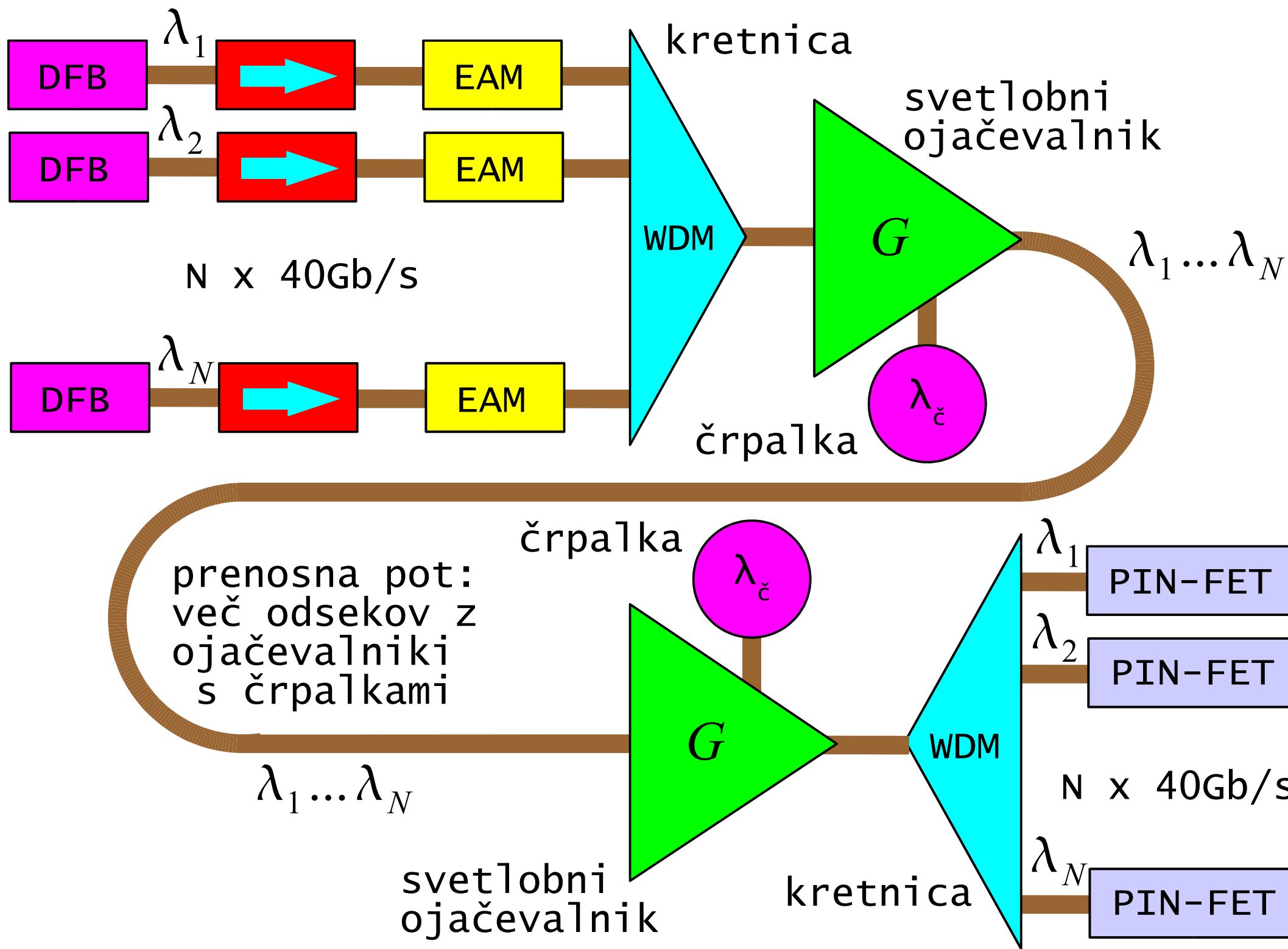




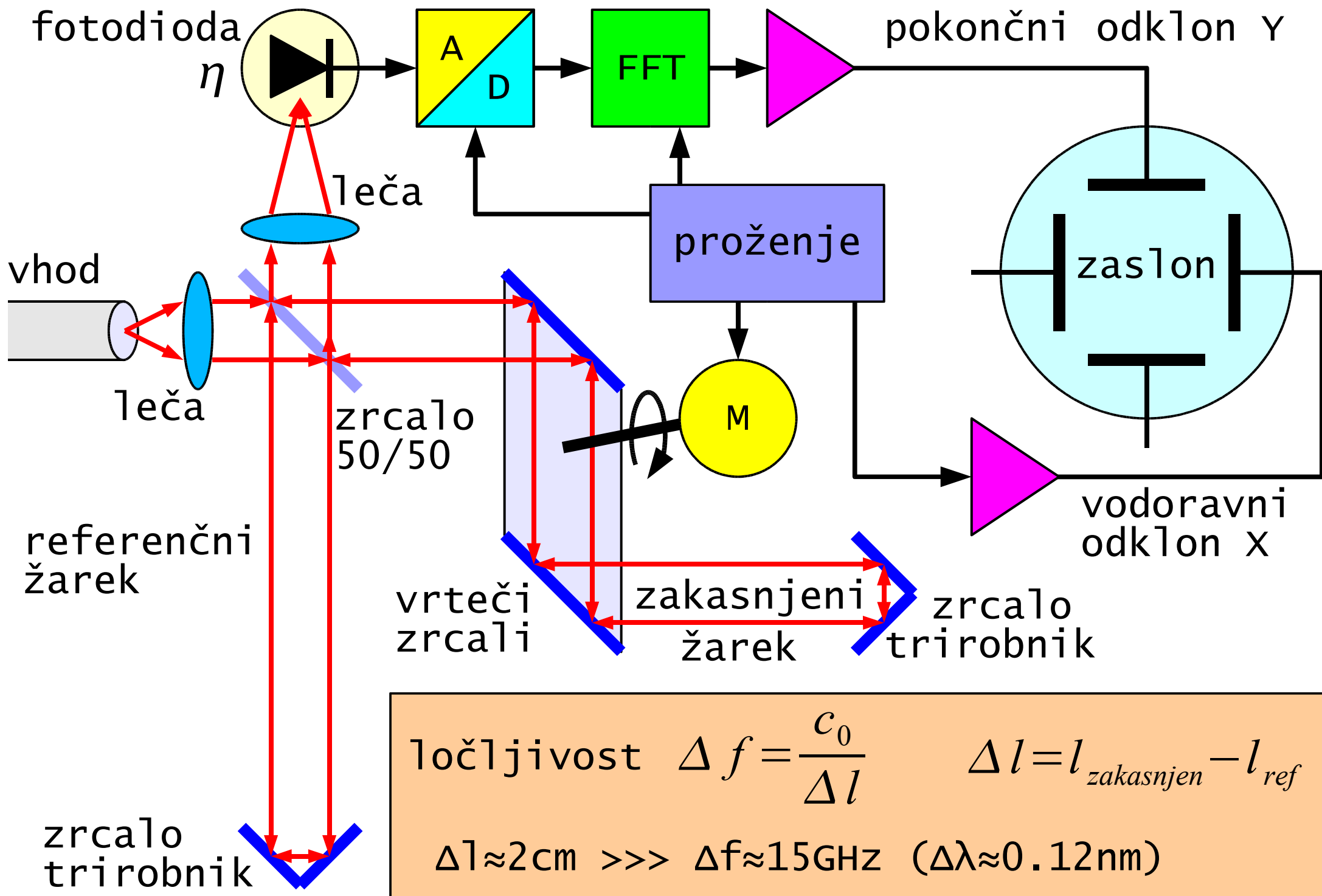
$$D_p = \frac{\tau}{\sqrt{l}} \quad (ps/\sqrt{km})$$



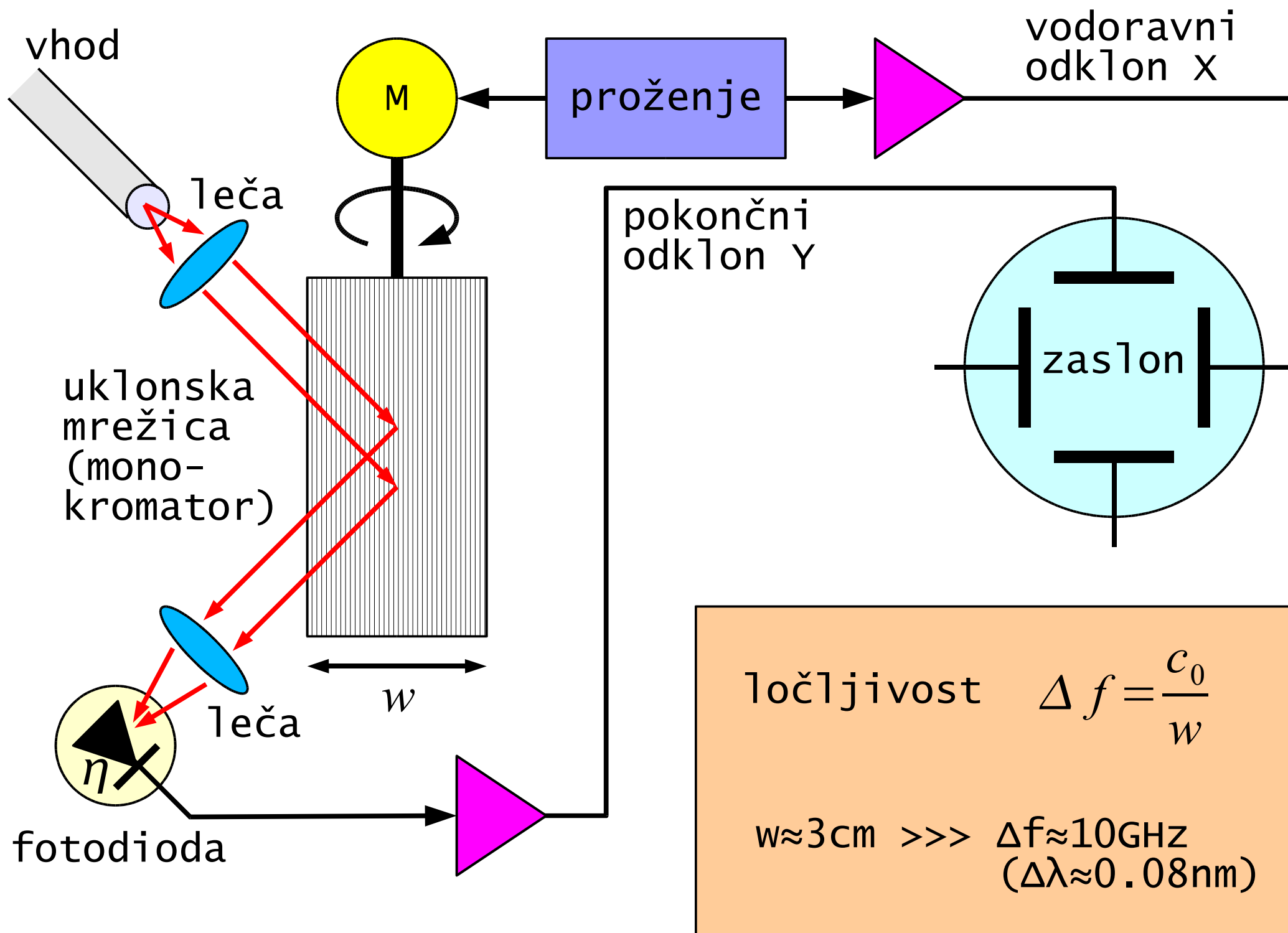
21 – Meritev polarizacijske razpršitve (PMD).



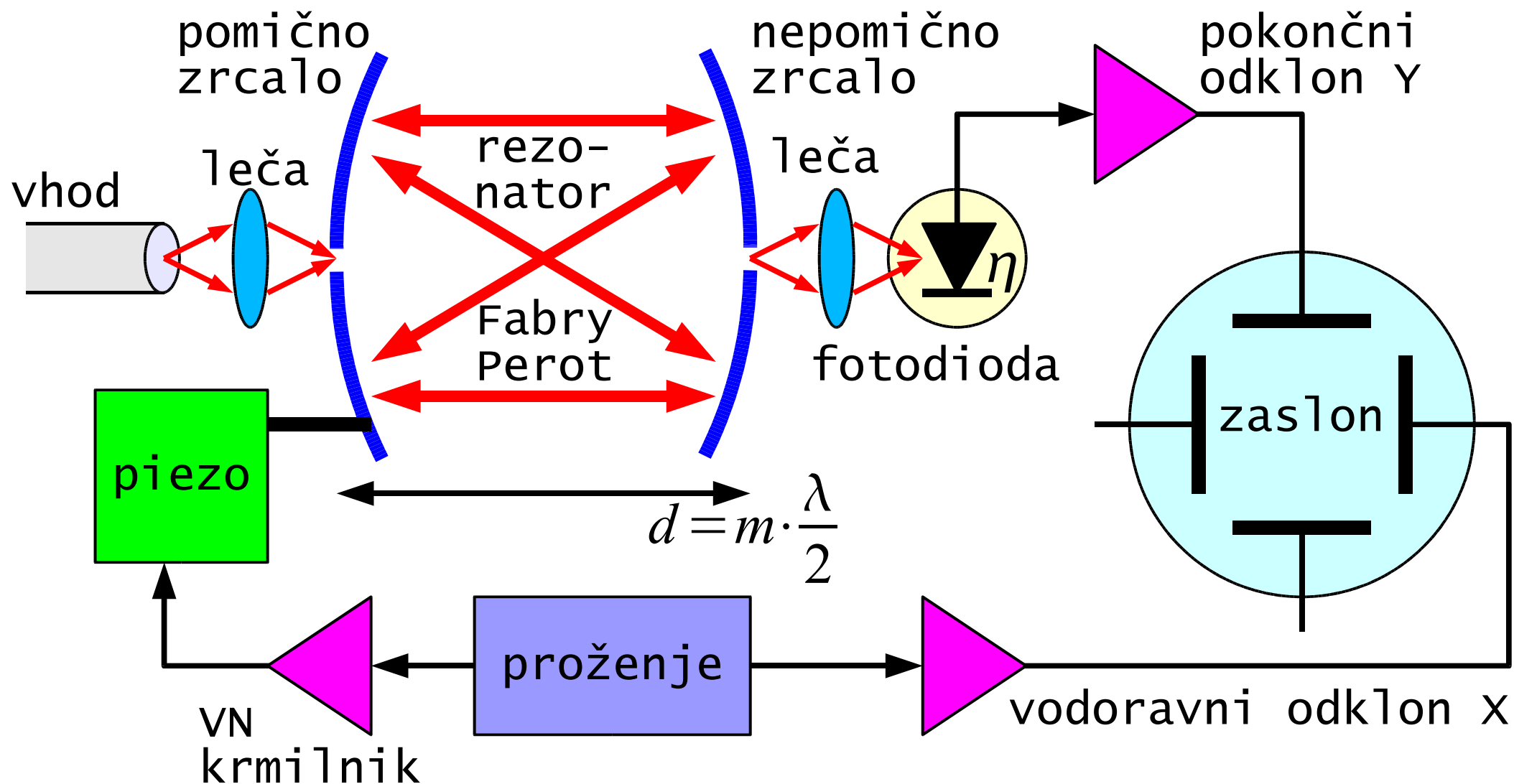
22 - Zahtevnost valovnodolžinskega razvrščanja (WDM).



23 - Optični spektralni analizator z interferometrom.

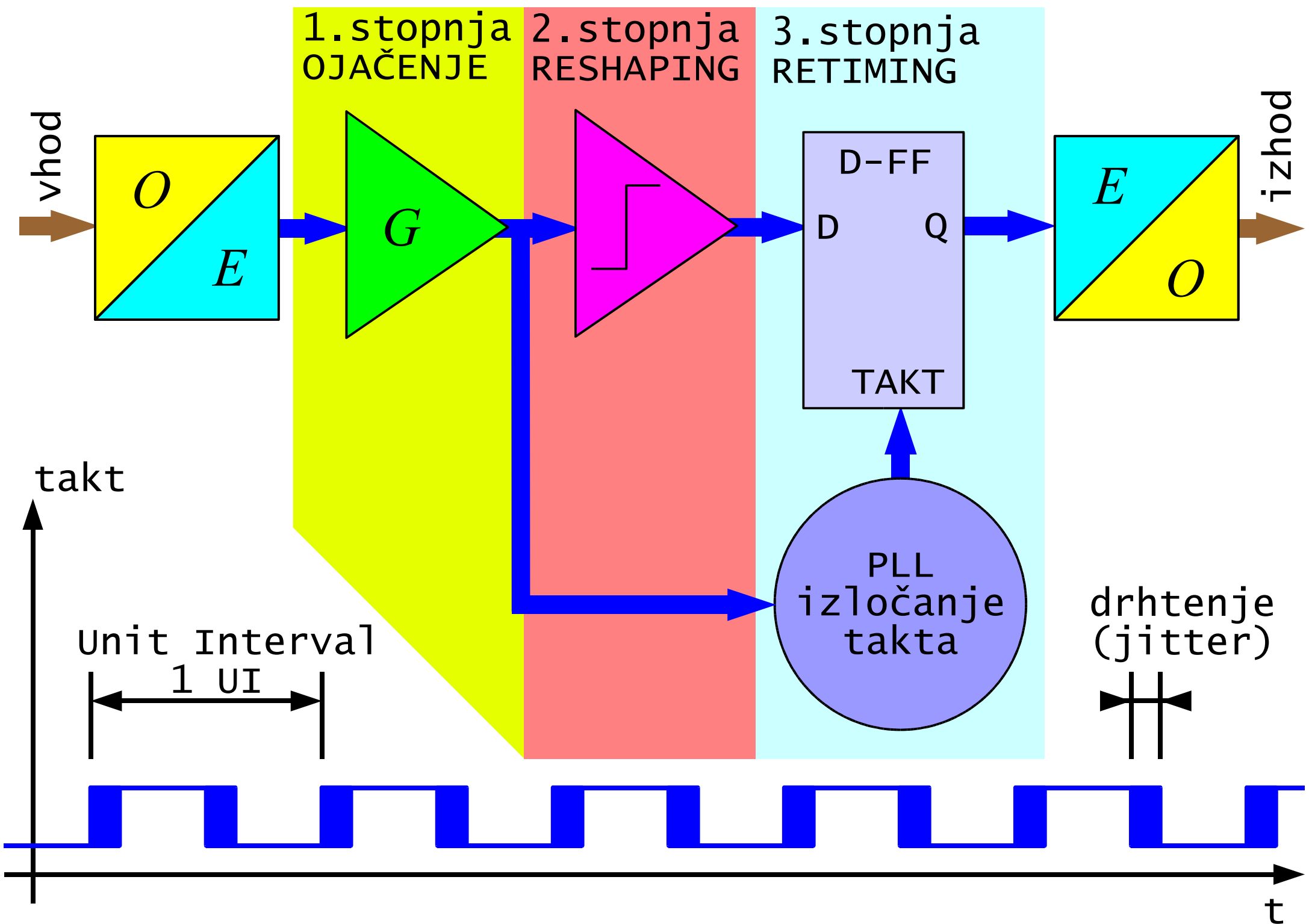


24 - Optični spektralni analizator z uklonsko mrežico.

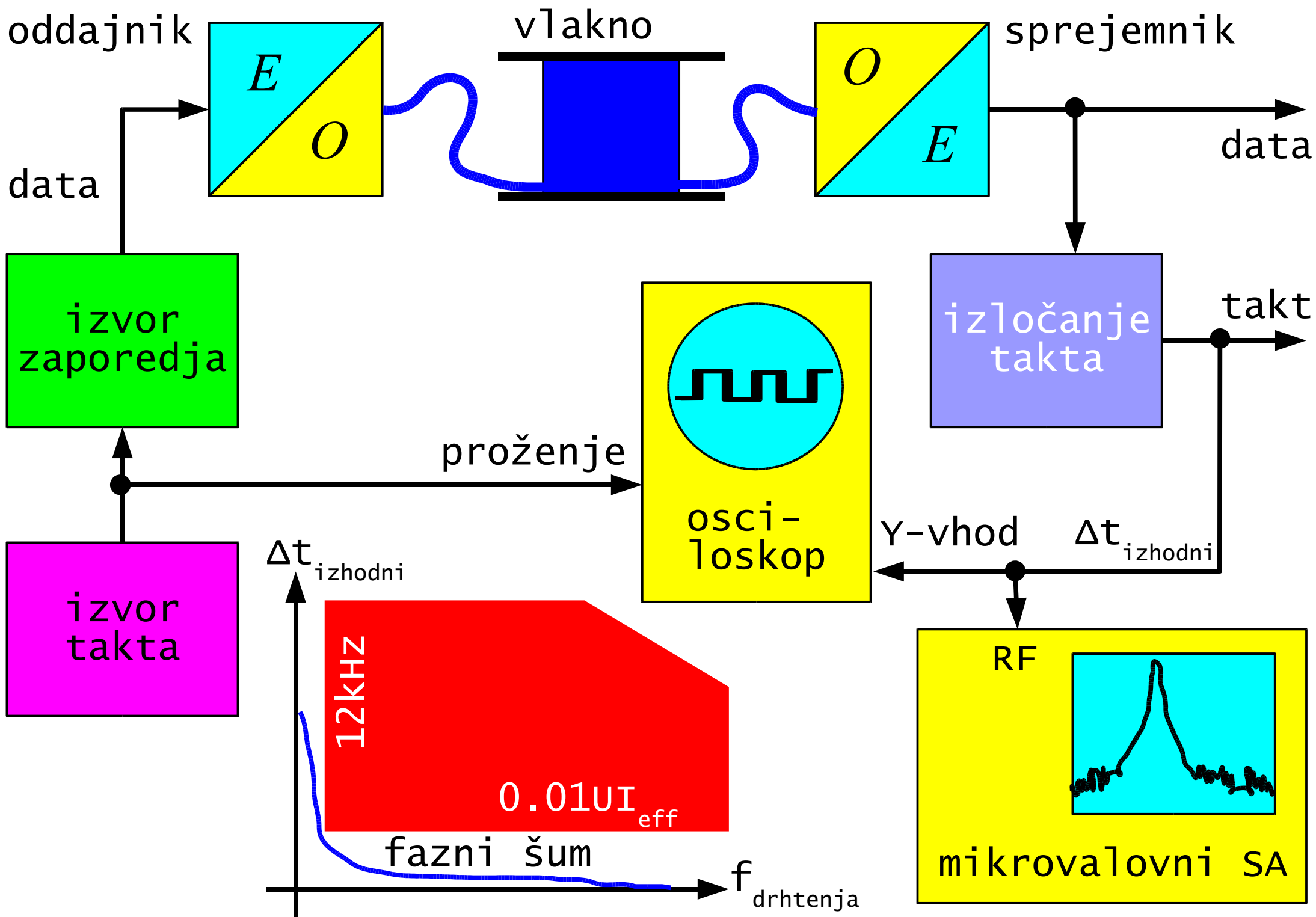


ponavljanje FSR $\Delta f = 300 \text{ MHz} \dots 1 \text{ THz}$ ($\Delta \lambda = 0.0024 \text{ nm} \dots 8 \text{ nm}$)

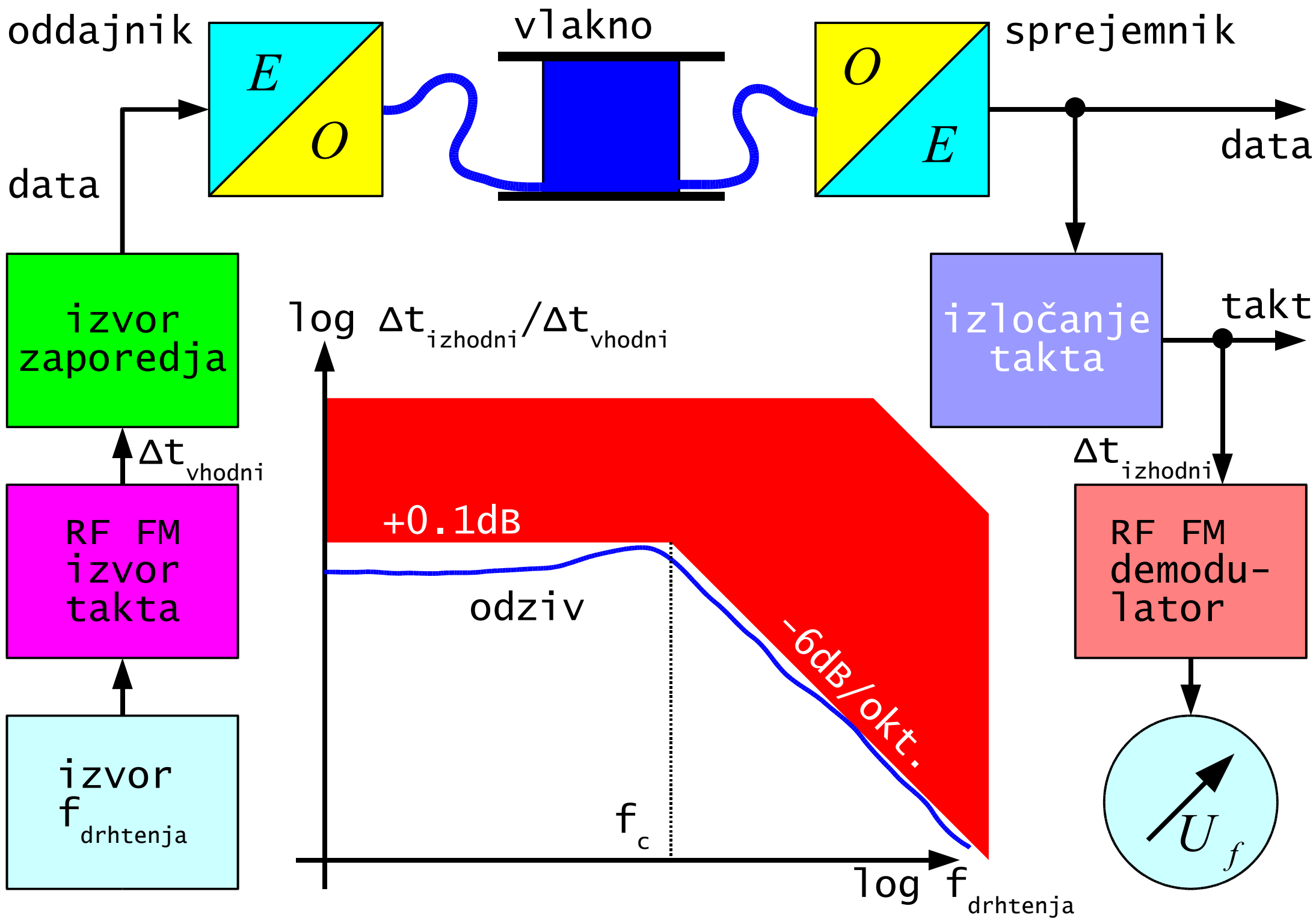
točljivost $\Delta f = 1 \text{ MHz} \dots 3 \text{ GHz}$ ($\Delta \lambda = 0.000008 \text{ nm} \dots 0.024 \text{ nm}$)



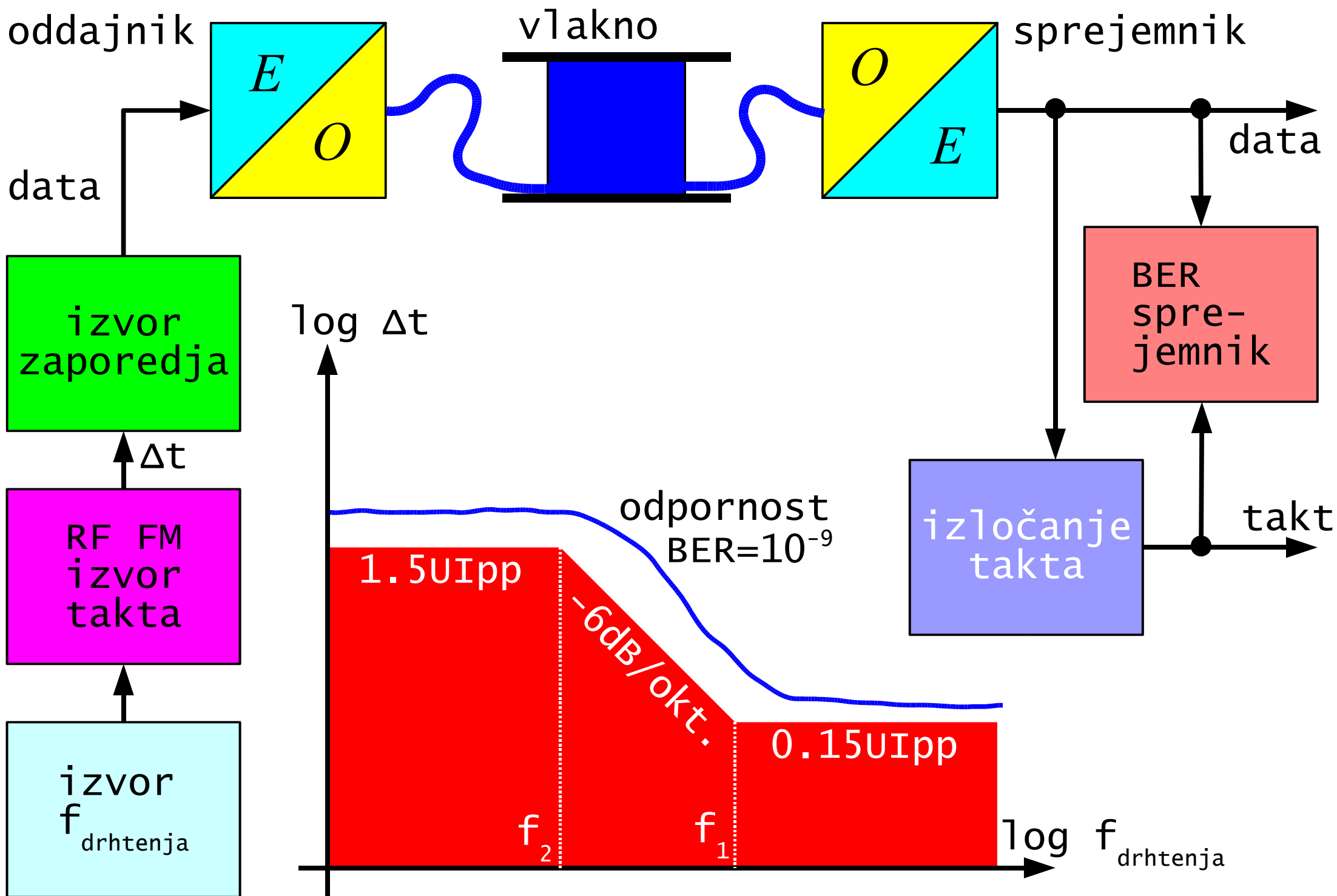
26 - Regeneracija signala in drhtenje takta.



27 - Meritev izvora drhtenja (jitter generation).



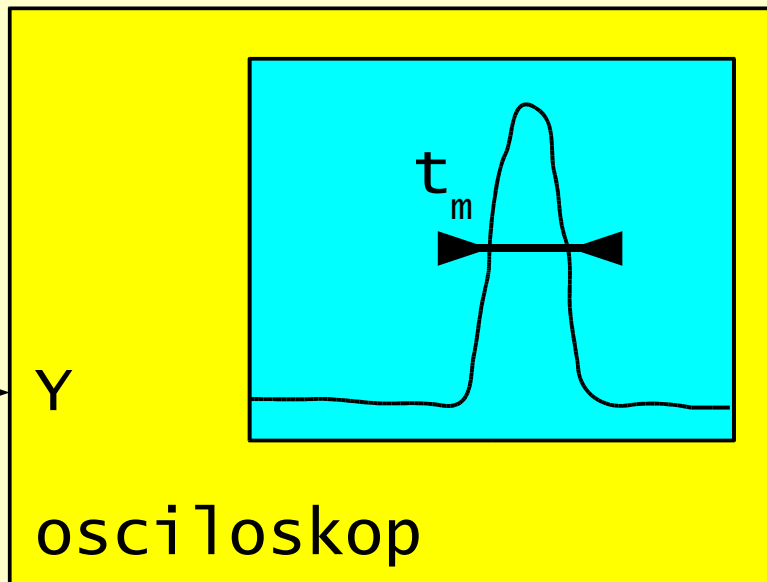
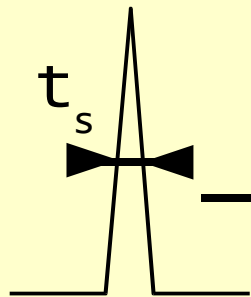
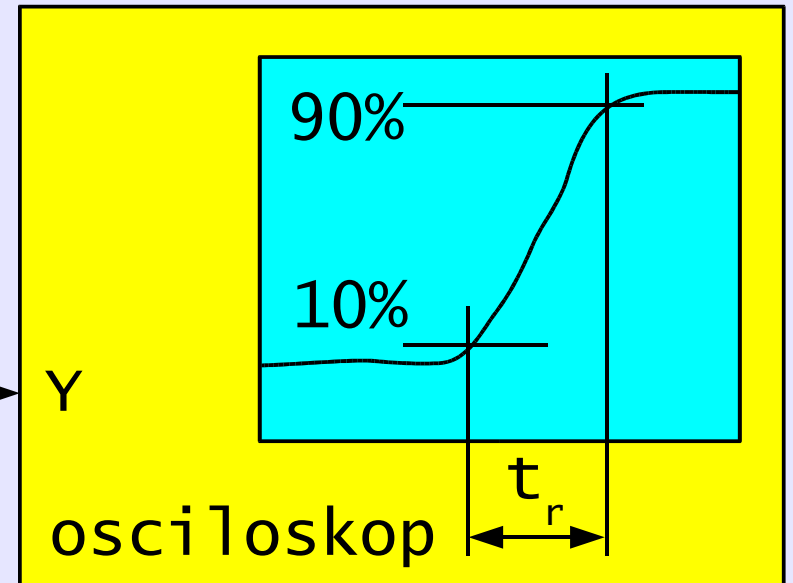
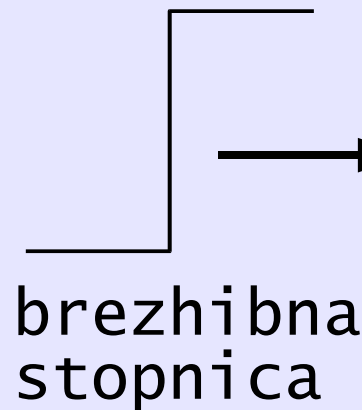
28 - Meritev prenosa drhtenja (jitter transfer).



29 - Meritev odpornosti na drhtenje (jitter tolerance).

$$t_r \approx \frac{0.35}{B}$$

$$B=50\text{GHz} \gg t_r=7\text{ps}$$

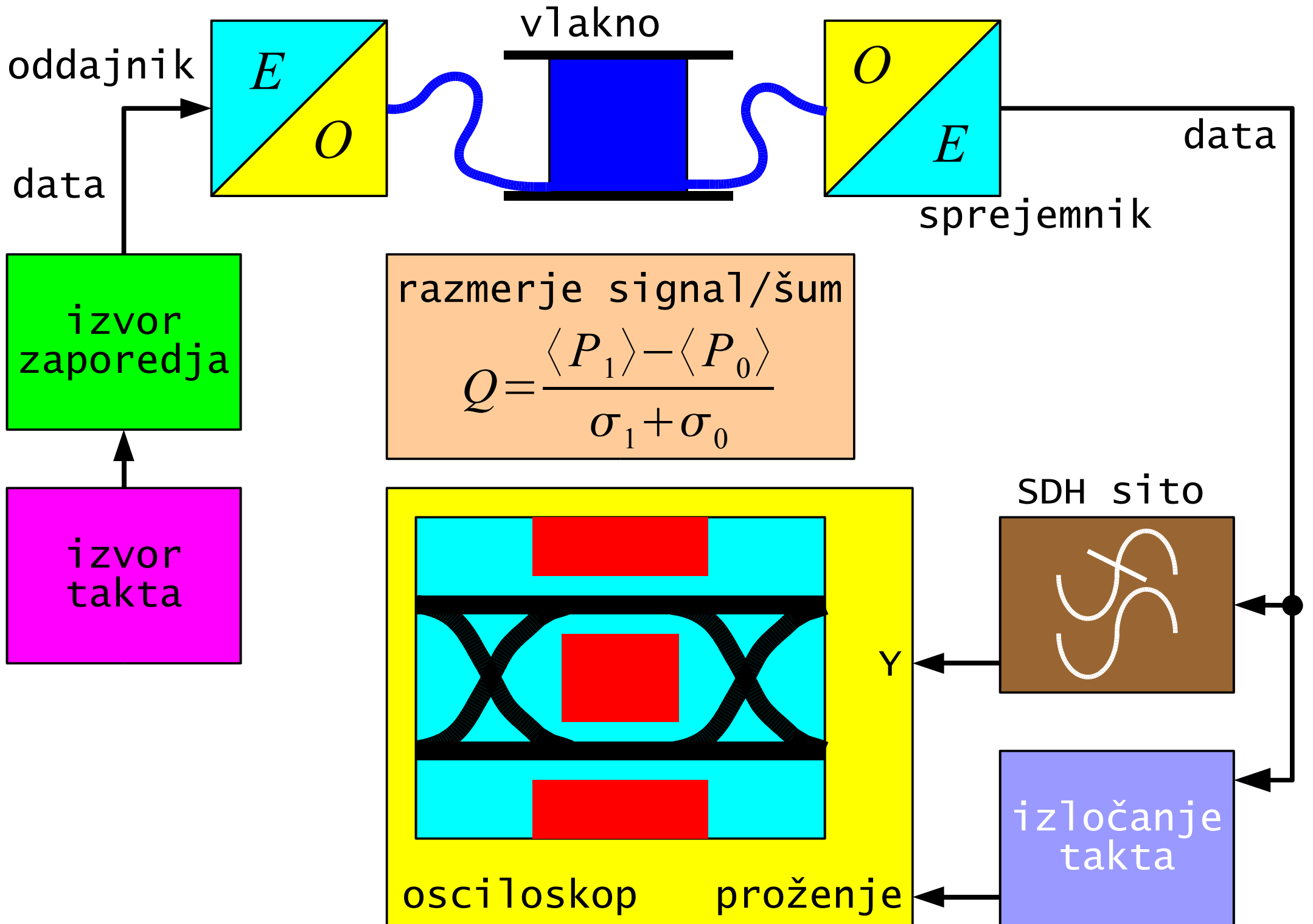


$$t_m = \sqrt{t_s^2 + t_r^2}$$

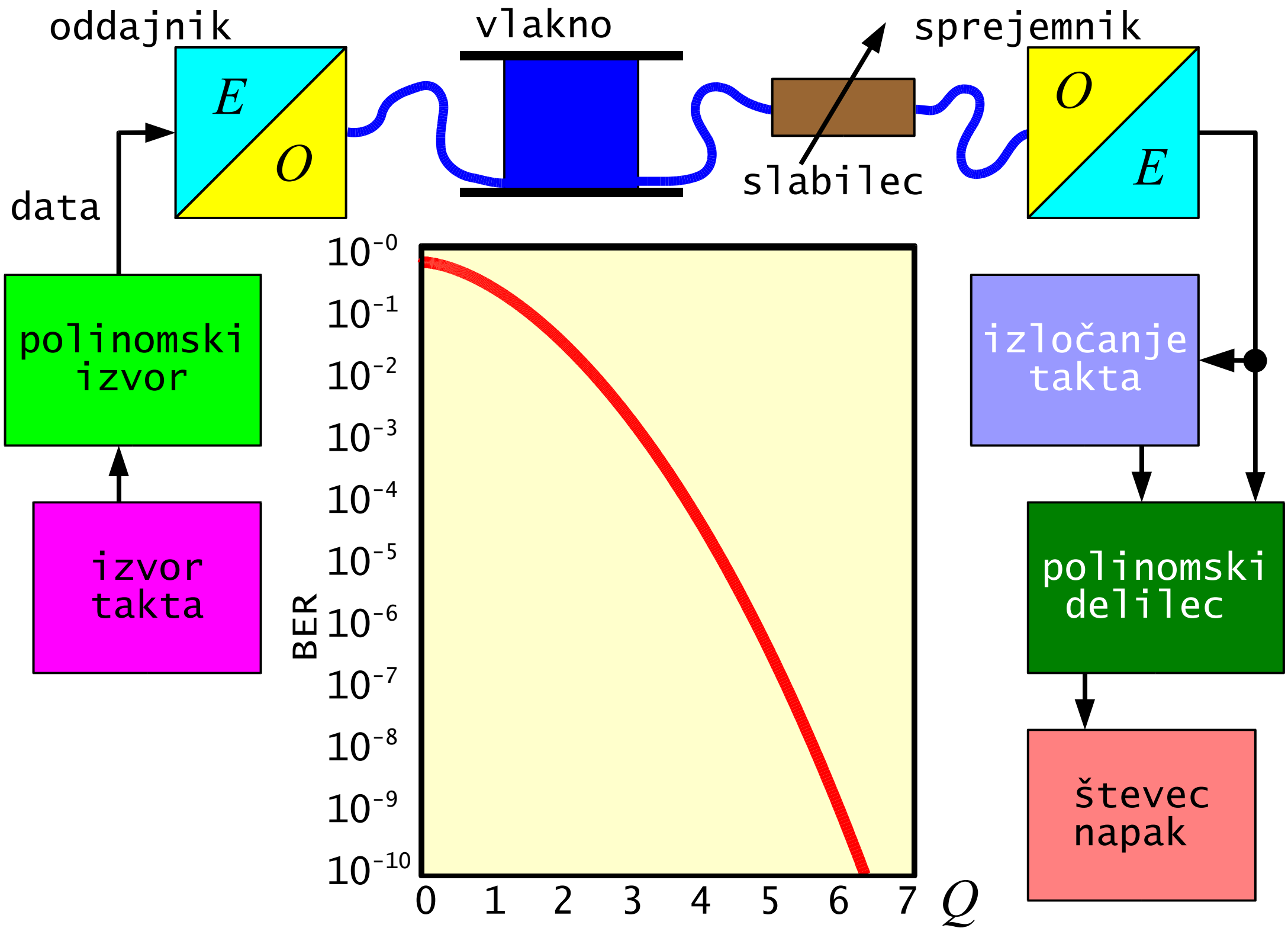
$t_s \equiv$ resnična širina

$t_m \equiv$ izmerjena širina

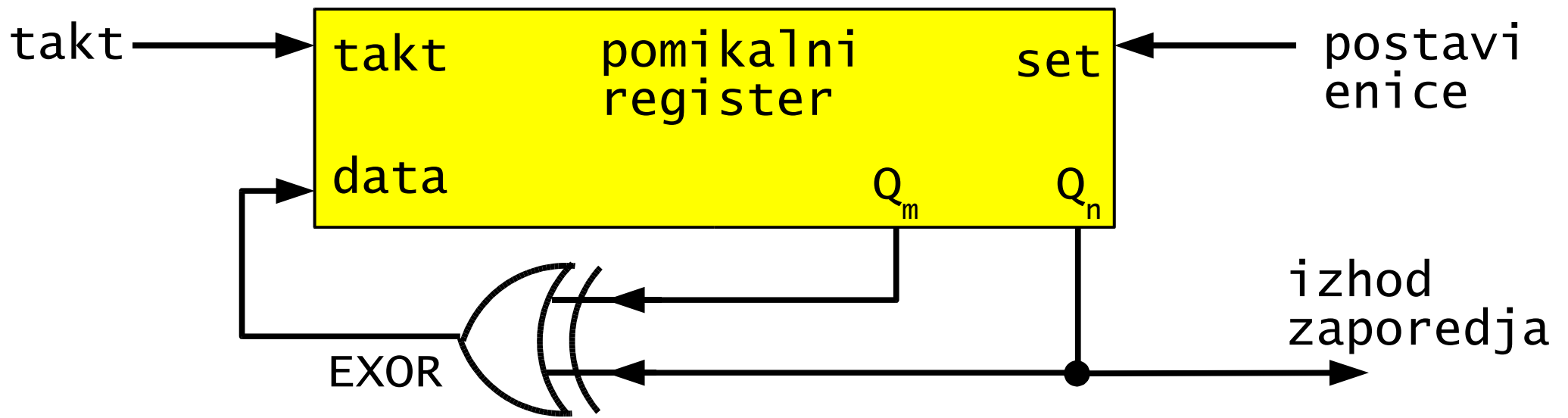
$t_r \equiv$ odziv osciloscopa



31 - Očesni vzorec (eye pattern) in razmerje Q.



32 - Meritev pogostnosti napak (BER).



primitivni
nerazcepni
polinom

$$P(x) = 1 + x^m + x^n$$



maksimalno
zaporedje
dolžine

$$2^n - 1$$

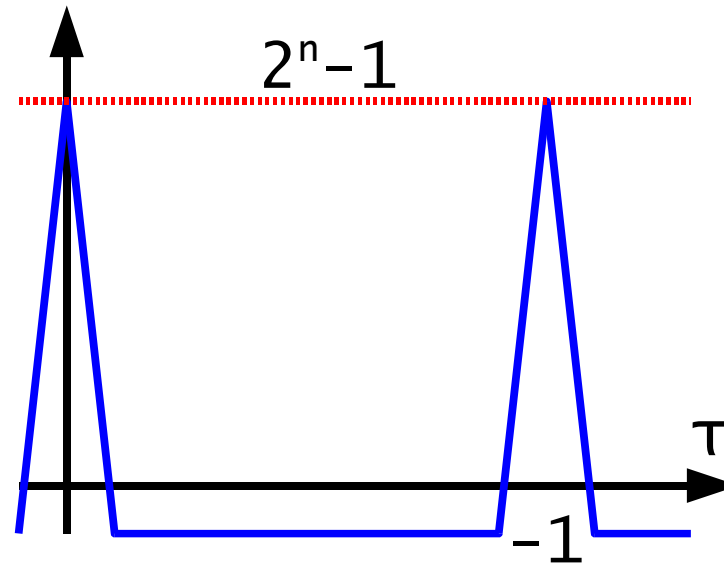
(1) enice/ničle

2^{n-1} enic

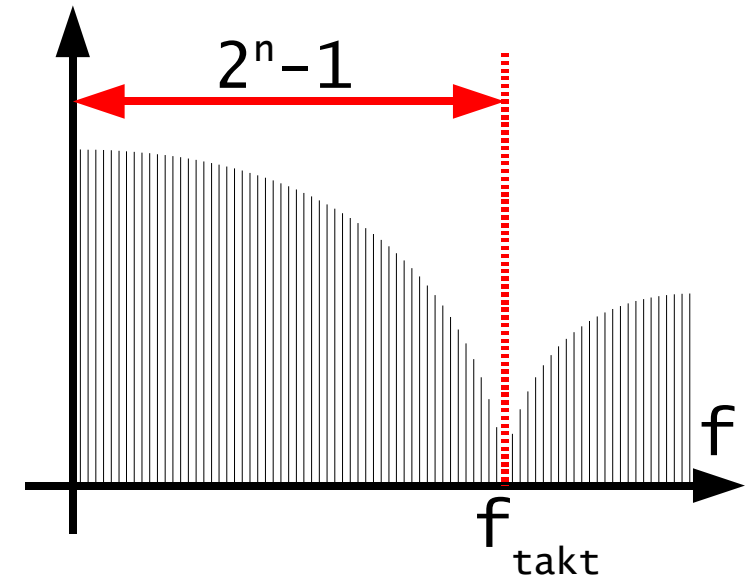
$2^{n-1} - 1$ ničel

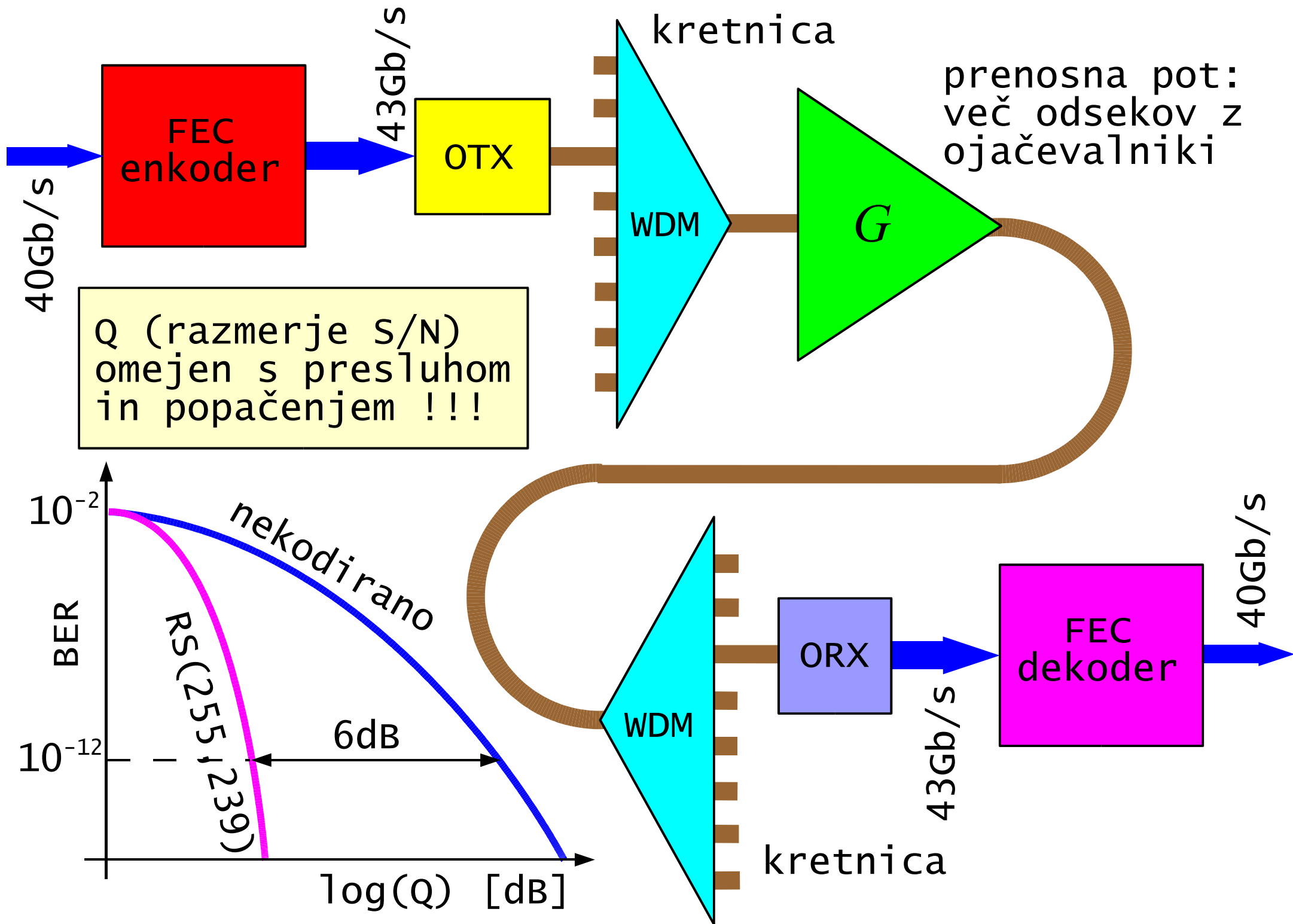
zelo dobro
premešane

(2) avtokorelacija

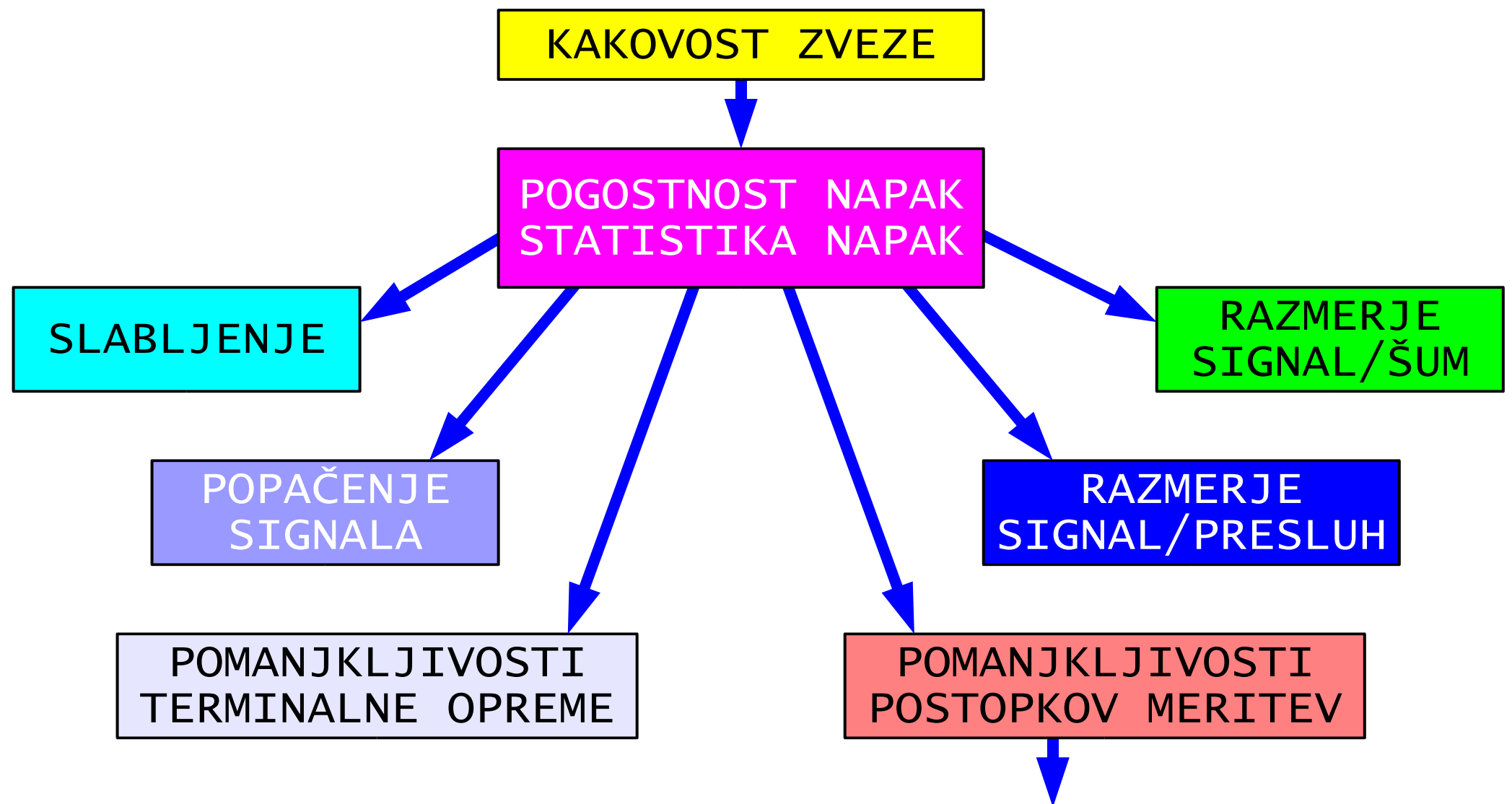


(3) spekter





34 - vnaprejšnje popravljanje napak (FEC).



B=1THz...10THz >>> zajemanje celotne info ni možno!
 frekvenčni spekter: samo jakost, omejena ločljivost
 časovni prostor: samo ovojnica, povprečenje, vzorčenje