

Cvičenie 06:
Vlastnosti optických vlákien
(2.časť)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/
Cvicenia/Cv06](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv06)

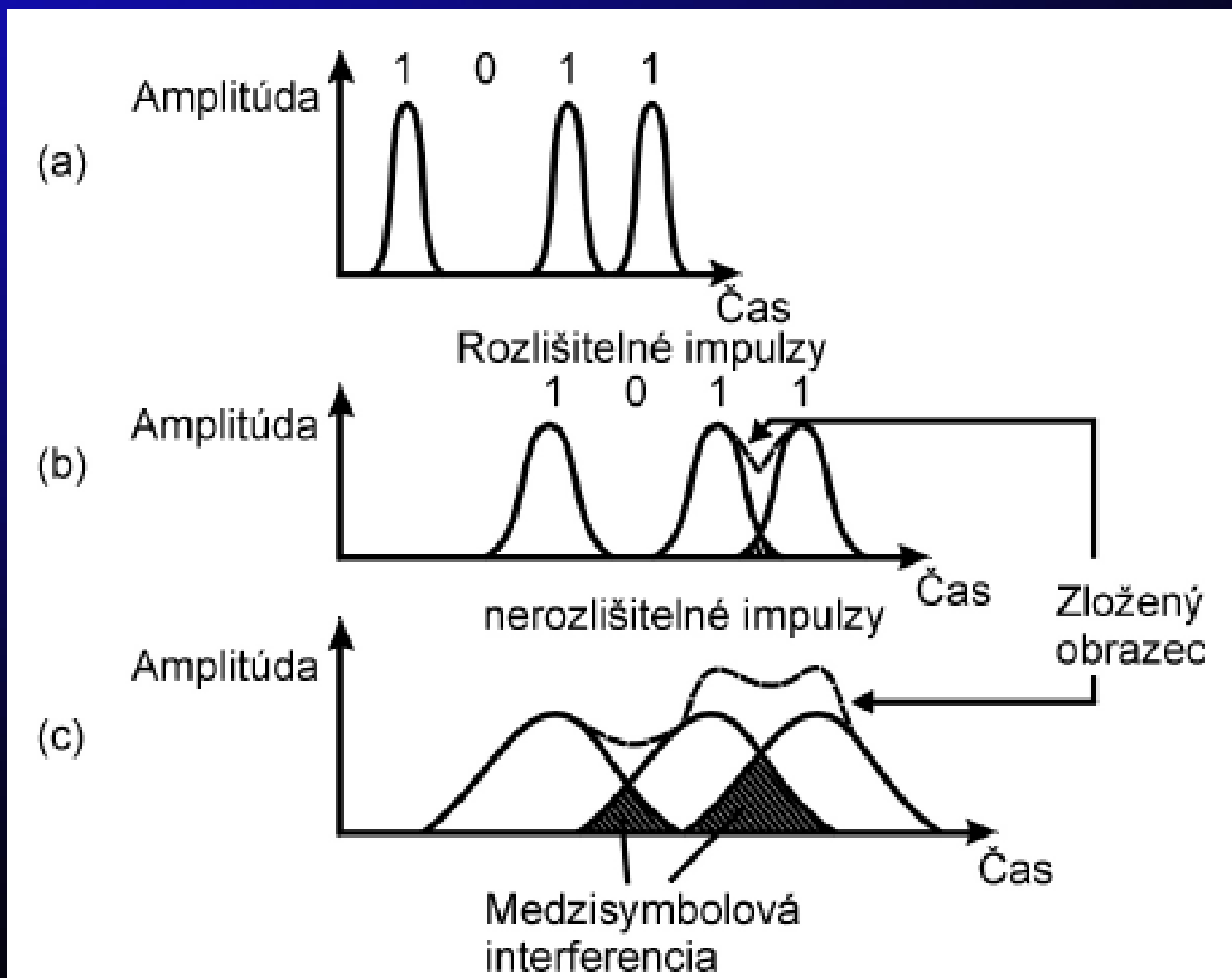
Disperzia

- spôsobuje poruchu číslicového aj analógového prenosu
- pri číslicovom prenose spôsobuje disperzia **rozšírenie impulzov** (obr. 1), ktoré vedú k **medzisymbolovej interferencii**, čím sa **zvyšuje chybovosť prenosu**
- aby sme mohli spoľahlivo rozlíšiť jednotlivé rozšírené optické impulzy (**obr. 1**), možno číslicový signál cez OV prenášať len do istej **maximálnej prenosovej rýchlosti** B_T (bit.s⁻¹)

$$B_T \leq \frac{1}{2\tau}$$

- kde τ je **dĺžka impulzu**

Obr. 1 Ilustrácia vplyvu disperzie na rozšírenie impulzov a vznik medzisymbolovej interferencie: (a) vstupný signál, (b) signál na výstupe OV dĺžky L_1 a (c) signál na výstupe OV dĺžky $L_2 > L_1$



- maximálnu prenosovú rýchlosť možno určiť aj presnejšie, ak predpokladáme, že optické impulzy majú Gaussov tvar so strednou kvadratickou odchýlkou σ

$$B_{T(\max)} \cong \frac{0,2}{\sigma} \quad (\text{bit } s^{-1})$$

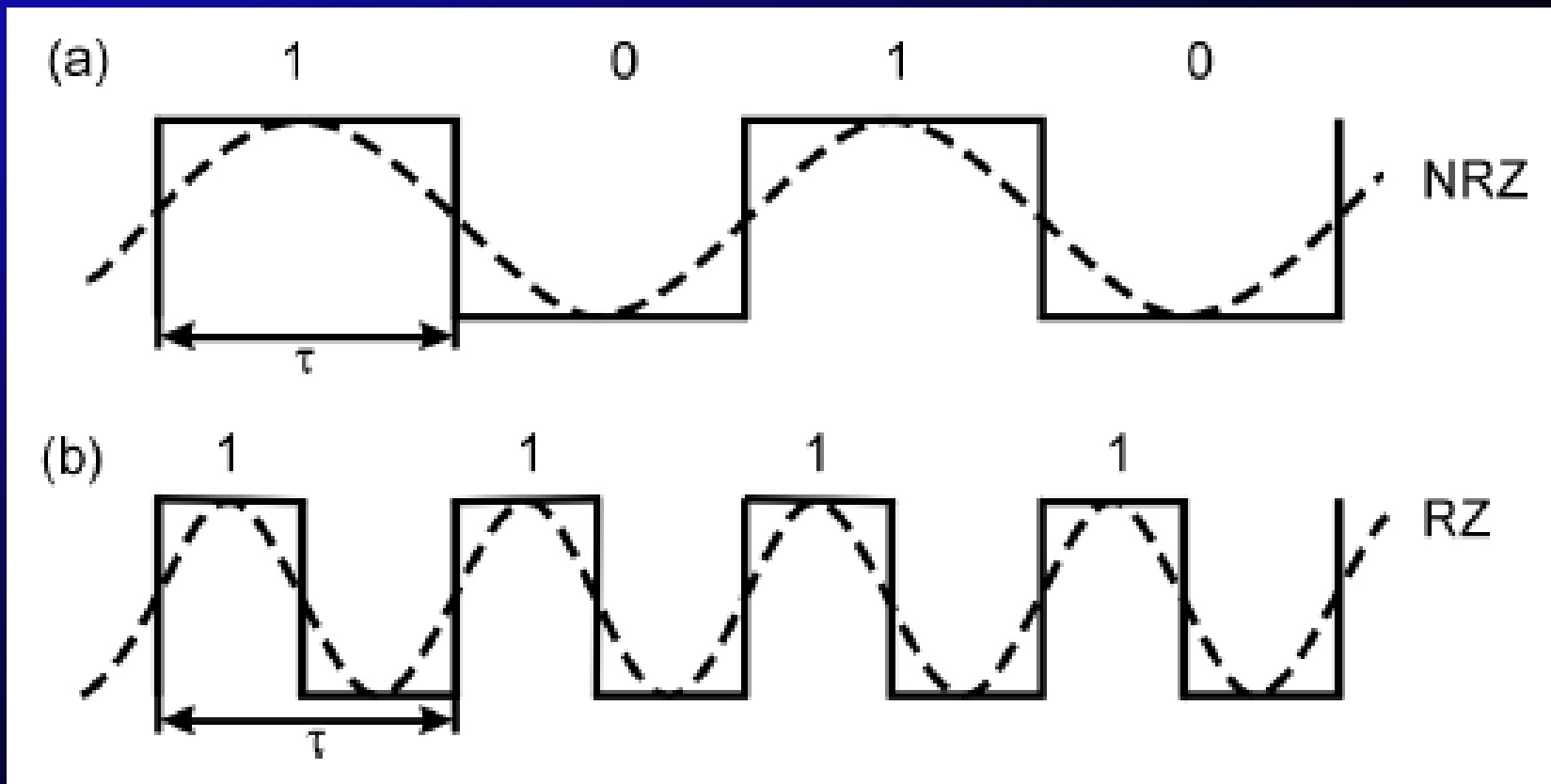
- prevod prenosovej rýchlosti $\text{bit} \cdot s^{-1}$ na šírku pásma v Hz závisí od použitého číslicového kódu (obr.2)
 - kód bez návratu k nule (NRZ – No Return to Zero) (obr. 2a)

$$B_{T(\max)} = 2B$$

- kód s návratom k nule (RZ – Return to Zero) (obr. 2b)

$$B_{T(\max)} = B$$

Obr. 2 Vzťah medzi prenosovou rýchlosťou a vlnovou dĺžkou pre (a) kódy bez návratu k nule (NRZ) (b) kódy s návratom k nule (RZ)



- Elektrická šířka pásma B – definovaná elektrickými 3 dB
- Optická šířka pásma B_{opt} – definovaná optickými 3 dB bodmi
- Koefficient širokopásmovosti = součin šířky pásma a délky optického vlákna – kvalita optického vlákna
 - typické hodnoty $B_T = B_{opt} \cdot L$ sú:
 - 20 MHz km pre SI-MM,
 - 1 GHz km pre GI-MM,
 - 100 GHz km pre SI-SM optické vlákno

Vnútrovidová disperzia

- **Vnútrovidová alebo chromatická** disperzia môže vzniknúť vo všetkých typoch OV a je dôsledkom konečnej šírky pásma zdrojov svetla:
 - rôzne spektrálne zložky signálu sa šíria s rôznym oneskorením v OV, čo spôsobuje rovnaké rozšírenie každého vidu, t.j. **vnútrovidovú disperziu**
 - rozdiely v oneskorení jednotlivých spektrálnych zložiek signálu môžu byť spôsobené disperznými vlastnosťami materiálu OV (**materiálová disperzia**) a tiež disperznými vlastnosťami štruktúry OV (**vlnovodová disperzia**)

Materiálová disperzia

- vzniká v dôsledku rôznych skupinových rýchlostí jednotlivých spektrálnych zložiek signálu
- efektívne rozšírenie impulzu pôsobením materiálovej disperzie je

$$\sigma_m \cong \frac{\sigma_\lambda L \lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right|$$

- kde n_1 je index lomu jadra OV, L je dĺžka OV, σ_λ je efektívna spektrálna šírka zdroja svetla
- materiálová disperzia OV sa často vyjadruje tzv. parametrom materiálovej disperzie

- určuje sa v jednotkách $\text{ps} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$
- pre SiO_2 v okolí $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ je nulová

$$M = \frac{1}{L} \frac{d\tau_m}{d\lambda} = - \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}$$

Vlnovodová disperzia

- vzniká v dôsledku **rôznej skupinovej rýchlosti jednotlivých vidov**
- pre **mnohovidové** OV, kde sa šíri mnoho vidov, vzdialených od kritickej frekvencie, možno vlnovú disperziu **zanedbať** vzhľadom na materiálovú disperziu ($0,1$ až $0,2 \text{ ns.km}^{-1}$)
- pre **jednovidové** OV ju však **musíme uvažovať**

Medzividová disperzia

- nazývaná tiež **vidová** disperzia, vzniká v dôsledku **rôzneho oneskorenia jednotlivých vidov v mnohovidovom OV**, t.j. optický impulz prenášaný v OV pomocou rôznych vidov môže byť rozšírený v dôsledku rôzneho oneskorenia jednotlivých vidov
- výpočet **efektívnej hodnoty rozšírenia impulzu** pôsobením medzividovej disperzie v stupňovitom mnohovidovom optickom vlákne (**SI MM**)

$$\delta_s \cong \frac{Ln_1\Delta}{2\sqrt{3}c} = \frac{L(NA)^2}{4\sqrt{3}n_1c}$$

- podstatným spôsobom však možno **redukovať** medzividovú disperziu použitím gradientných mnohovidových OV (**GI MM**)
- **efektívne rozšírenie impulzu** pre GI MM

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{Ln_1\Delta^2}{20\sqrt{3}c}$$

- **zmenšenie rozšírenia impulzu v optimálnom gradientnom mnohovidovom OV môže byť až 10^3 násobné oproti SI MM**

Celková disperzia optického vlákna

- celkové efektívne rozšírenie impulzu MM vlákna

$$\sigma_I^{MM} = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_n^2}$$

- kde σ_c je vnútrovidové (chromatické) a σ_n medzividové rozšírenie impulzu (t.j. $\sigma_n = \sigma_s$ pre **mnohovidové** a $\sigma_n = \sigma_g$ pre **mnohovidové gradientné OV**)
- σ_c je vnútrovidová disperzia vplyvom materiálovej a vlnovodovej disperzie; vzhľadom na to, že vlnovodová disperzia je v praxi väčšinou zanedbateľná tak $\sigma_c \cong \sigma_m$

Vidový šum

- medzividová disperzia v mnohovidových OV spôsobuje vznik fluktuácií v prenášanom signále, ktorých charakteristický čas (perióda) je dlhší ako rozlišovacia doba fotodetektora
- tieto fluktuácie nepriaznivo pôsobia na prenášaný signál a nazývame ich vidovým alebo spektrálnym šumom

Zvýšenie vidového šumu spôsobujú najmä tieto podmienky:

- použitie koherentného zdroja s úzkou spektrálnou šírkou a veľkou koherenčnou dĺžkou
- nehomogenity pozdĺž OV, ktoré spôsobujú rôzne neskorenie vidov alebo vidovú, resp. priestorovú filtráciu fázová korelácia medzi vidmi

Polarizácia svetla

- valcové OV vo všeobecnosti nezachovávajú polarizačný stav vstupného svetla na dráhe dlhšej ako niekoľko metrov
- preto sa väčšinou v optických vláknových prenosových systémoch využíva niektorý druh modulácie intenzity svetla
- optický signál je teda detekovaný fotodetektorom, ktorý nie je citlivý na polarizačný stav, resp. fázu svetelnej vlny
- existujú však aj také aplikácie OV (najmä optické vláknové senzory), kde je žiadúce zachovávať polarizačný stav svetelnej vlny šíriacej sa v OV - takéto vlákna sú jednovidové

■ Polarizáciu zachovávajúce jednovidové vlákna môžu byť navrhnuté ako OV:

- s veľkým dvojlomom, čo môže byť dosiahnuté redukciou dĺžky L_B na hodnotu okolo 1 mm (L_B je fázová (záznejová) dĺžka)
- s malým dvojlomom, zvýšením hodnoty Λ_C pri veľkej hodnote $L_B \sim 50$ m (Λ_C je medzná (kritická) perióda)

Príklad č. 1

Zadanie:

- Optické vlákno so skleneným jadrom na báze K_2O-SiO_2 má pre vlnovú dĺžku $1\mu m$ tlmenie v dôsledku Rayleighovho ozptylu $0,46 dB km^{-1}$. Sklo jadra má koeficient izotermálnej stlačiteľnosti $\beta_c = 8,4 \cdot 10^{-11} m^2 N^{-1}$ pri fiktívnej teplote $T_F = 758K$ a strednú hodnotu fotoelastického koeficientu $p = 0,245$. Vypočítajte index lomu jadra tohto optického vlákna.

Riešenie:

- Index lomu skla na báze K_2O-SiO_2 je $n = 1,49$

Príklad č. 2

Zadanie:

- Dve stupňovité optické vlákna majú tieto charakteristiky: (a) Index lomu jadra 1,5, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $1,55\mu\text{m}$. (b) Index lomu jadra 1,5, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $0,82\mu\text{m}$. Určite kritický polomer ohybu obidvoch vlákien.

Riešenie:

- (a) $16,7851\mu\text{m}$ (b) $8,87988\mu\text{m}$,

zmenšenie vlnovej dĺžky = zmenšenie kritického polomeru

Príklad č. 3

Zadanie:

- Mnohovidové stupňovité optické vlákno má numerickú apertúru 0,3 a index lomu jadra 1,45. Parameter materiállovej disperzie (M) tohoto vlákna je $250 \text{ ps.nm}^{-1}.\text{km}^{-1}$, čo spôsobuje, že materiálová disperzia je dominantným mechanizmom vnútrovidovej disperzie. Vypočítajte: (a) celkové efektívne rozšírenie impulzov, ak toto vlákno je použité s LED zdrojom s efektívnou spektrálnou šírkou 50 nm; (b) zodpovedajúci koeficient širokopásmovosti optického vlákna.

Riešenie:

- (a) 32,465 ns/km (b) 6,16 MHz.km

Príklad č. 4

Zadanie:

- Porovnajete efektívne rozšírenie impulzov, spôsobené medzividovou disperziou, pre mnohovidové stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra 1,5 a s relatívnym rozdielom indexov lomu 1%, so zodpovedajúcim efektívnym rozšírením impulzov pre gradientné optické vlákno, ktoré má rovnaký index lomu jadra a relatívny rozdiel indexov lomu ako uvažované stupňovité vlákno.

Riešenie:

- Pre GI MM dosiahneme teoreticky pri ideálnom stave 1000x zmenšenie rozšírenia impulzov oproti SI MM. V praxi sa však táto hodnota obyčajne nedosiahne vzhľadom na problémy s presnosťou dosiahnutia požadovaného profilu indexu lomu.

Príklad č. 5

Zadanie:

- Optický vláknový spoj s dĺžkou 11km je vyrobený z gradientného optického vlákna optimálnym (blízkym parabolickému) profilom indexu lomu. Nech toto vlákno má rozšírenie impulzu na celú svoju dĺžku 346ps a relatívny rozdiel indexov lomu 1,5%. Vypočítajte index lomu na osi jadra a numerickú apertúru optického vlákna.

Riešenie:

- $n_1=1,4518546$, $NA=0,2514686$

Ďakujem za pozornosť